This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Chem
7238
30

Harvard College Library

FROM

George P. Osborne
Dudley E. Fitts
From the library of
William Hayes.

SCIENCE CENTER LIBRARY

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER.

Se trouve aussi

A PARIS,

Chez Anselin, rue Dauphine, n° 9.
F. G. Levrault, rue de la Harpe, n° 81.
Bachelier, quai des Augustins, n° 55.
Carillan-Gœury, quai des Augustins, n° 41.

A STRASBOURG,

Chez F. G. Levrault, rue des Juifs, n° 33.

A BESANÇON,

Chez Bintot, Libraire.

METZ. — LAMORT, IMP. DE L'ACADÉMIE ROYALE.

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER,

PAR

C. J. B. KARSTEN,

CONSEILLER SUPÉRIEUR ET INTIME DES MINES DE PRUSSE, CHEVALIER DE LA CROIX DE FER, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE BERLIN, ET DE PLUSIEURS AUTRES SOCIÉTÉS SAVANTES;

TRADUIT DE L'ALLEMAND

PAR

F. J. CULMANN,

CHEF D'ESCADRON AU NEUVIÈME RÉGIMENT D'ARTILLERIE, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, CHEVALIER DU MÉRITE MILITAIRE ET DE LA LÉGION-D'HONNEUR, MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE METZ.

SECONDE ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE SUR LA SECONDE ÉDITION DE L'ORIGINAL.

TOME PREMIER.

METZ,

Mme THIEL, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE, DE L'ÉCOLE ROYALE D'APPLICATION DE L'ARTILLERIE ET DU GÉNIE, DU BULLETIN UNIVERSEL DES SCIENCES.

1830.

Chem 7239.30

George R Osborne
Dudley & E. Fitts
From the library of
William Hayes.

PRÉFACE

DE LA DEUXIÈME ÉDITION.

Ce n'est qu'au manque d'ouvrages utiles sur l'art des forges que j'attribue le succès de mon Manuel de la métallurgie du fer. La comparaison de la première édition avec la seconde fera voir que je ne me suis, en aucune façon, fait illusion sur les imperfections de ce livre. Bien que je n'eusse pas à m'écarter de mon premier plan, on verra cependant que la nouvelle n'a presque de commun avec l'ancienne que la disposition des matières, et que, dans l'exécution spéciale, elle peut être regardée comme un ouvrage tout nouveau.

J'espère qu'on ne blâmera ni l'étendue que je lui ai donnée pour le rendre complet, ni

l'augmentation du nombre des planches qui devenait nécessaire, afin qu'il fût plus utile. La première édition n'en avait pas assez, c'était son principal défaut: la seconde en aura beaucoup plus, et j'aurais même désiré qu'elle en eût encore davantage; mais, du moins, celles qui s'y trouvent, ont été dessinées sur des appareils qui sont en pleine activité et qui présentent les résultats les plus avantageux; elles en seront d'autant plus précieuses pour les constructeurs à qui elles pourront offrir des modèles.

Onze ans se sont écoulés depuis l'impression de la première édition. L'art des forges s'est enrichi pendant ce temps d'une foule de découvertes et de connaissances utiles; l'importance en a été sentie en Europe et dans le nouveau monde, et, au milieu des progrès rapides de l'esprit humain, elle a excité partout une salutaire émulation. De nouvelles méthodes ont été adoptées; les anciennes ont été perfectionnées. Toutefois, on doit être surpris de voir, dans l'état actuel des arts et des sciences, paraître encore des

livres qui donnent des idées entièrement fausses sur la nature d'un métal si important pour la prospérité des états et si nécessaire aux besoins de la vie sociale. Les hommes instruits jugeront si j'ai mieux réussi que mes prédécesseurs, et si mes découvertes seront de quelqu'utilité dans la pratique.

L'ouvrage paraît en 4 volumes; le premier traite des propriétés physiques et chimiques du fer; le 2^{me} des minérais, des combustibles et des machines soufflantes; le 3^{me} de la production de la fonte et de la fabrication des objets moulés; le 4^{me} enfin de la préparation du fer ductile et de celle de l'acier *.

Berlin, le 3 août 1827.

* La traduction française paraît en trois volumes. (Voyez l'avertissement du traducteur.)

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ÉDITION.

Cet ouvrage est le fruit de douze années d'observations et d'essais que j'ai faits dans les usines, en vertu de mon emploi. Je n'aurais osé les rassembler en un système complet, si l'obligation d'enseigner l'art des forges à l'université de Breslaw, ne m'y avait déterminé, pour ainsi dire, malgré moi. Ceux qui connaissent les écrits sur le travail du fer, ne seront pas surpris que dans mes cours, j'aie été forcé de me frayer une route toute nouvelle. En publiant mon Manuel, je ne suis pas dans la position de beaucoup d'auteurs qui s'excusent d'augmenter le nombre des livres élémentaires ; loin de-là, je dois former le vœu d'être bientôt suivi dans la carrière que je viens d'ouvrir, par un successeur qui, riche de nouvelles expériences, puisse corriger les erreurs et remplir les lacunes, afin que la théorie sur l'art des forges soit établie dans toutes ses conséquences.

Il serait inutile de présenter une explication détaillée du plan que j'ai suivi: la table des matières le

fait connaître. Je ne voulais tracer d'abord, pour mes auditeurs, qu'une esquisse du système qui devait servir de base à mes leçons; mais en travaillant, je résolus de faire un traité complet, qui n'eût besoin d'aucune explication orale, persuadé que je répandrais plus de lumières sur la pratique de la métallurgie du fer; c'est ce qui a donné un si grand développement à ce Manuel, et l'a fait paraître en deux volumes : le premier peut être regardé comme préparatoire, le deuxième s'occupe des moyens d'exécution.

J'espère qu'on ne méconnaîtra pas l'empreinte d'originalité qui caractérise cet écrit, ni la nouveauté de mes idées. J'ai toujours été obligé de m'appuyer sur mes expériences et de suivre mes opinions, sans pouvoir profiter de celles des autres, quoique, dans un petit nombre de cas, j'aie trouvé des prédécesseurs expérimentés, tels que Garney, pour ce qui regarde la construction et le travail des hauts fourneaux. J'ai considéré comme appartenant à l'art des forges, la deuxième division de la seconde section relative aux combustibles, et la troisième section concernant les machines soufflantes: l'une et l'autre sont du ressort de la métallurgie en général; mais j'espère ne point encourir le blâme des praticiens, ils me sauront gré, au contraire, d'avoir traité ces parties avec toute l'attention qu'elles méritent.

La première section fera connaître le fer dans ses

différens états, par ses propriétés physiques et chimiques : j'ose espérer qu'elle rectifiera les erreurs que la théorie du jour n'a que trop enracinées. Pour les détruire, je me suis étendu au-delà des bornes prescrites par le plan de l'ouvrage. Quant à la partie pratique, elle est entièrement neuve ; on en sera convaincu sans peine, en la comparant à tout ce qui a paru sur cette matière.

Ne pouvant profiter des lumières d'auteurs plus anciens, je dois craindre que mes vues ne paraissent quelquefois exclusives et même erronées. Je recevrai donc volontiers les renseignemens qui pourront contribuer à perfectionner le Manuel du sidérurgiste ; j'éprouverai une vive reconnaissance pour ceux qui voudront bien me donner des avis, soit par la voie publique, soit par des correspondances privées, pour corriger, développer, éclaircir plusieurs articles de l'art des forges restés encore dans l'obscurité.

Les progrès que la fabrication du fer a faits en Silésie, par la sagesse et l'activité sans exemple de M. le comte de Reden, ministre d'état, sont appréciés de toute l'Allemagne, quoique les inventions de son génie ne soient jamais parvenues, par ses propres écrits, à la connaissance du public. C'est ainsi que se perpétue de soi-même le vrai mérite, la véritable grandeur. La mémoire de M. de Reden est sacrée pour l'état et surtout pour la province de Silésie, à laquelle il a voué

la plus belle partie de sa vie ; elle est sacrée pour moi qui étais honoré de sa confiance ; j'ai participé pendant ses dernières années à l'exécution de ses projets. Il ne lui fut point donné de voir prospérer toutes les améliorations que la justesse de son coup-d'œil sur l'art des forges avait préparées pour l'avenir. Mais si sa mémoire parmi nous est impérissable, que son esprit, que cet esprit d'union, de zèle, d'activité, d'infatigable persévérance reste aussi parmi nous à jamais ! Que le ciel bénisse les efforts de ses successeurs qui marchent sur ses traces ! puissent-ils atteindre le but qu'il s'est proposé, celui du bonheur et de la prospérité de l'état.

Breslaw, le 1^er^ mars 1816.

C. J. B. KARSTEN.

AVERTISSEMENT

DU TRADUCTEUR.

Il ne peut entrer dans notre intention, d'exposer les modifications importantes que M. Karsten a fait subir à la théorie sur les différens états métalliques du fer. Cependant, nous ferons observer que l'auteur s'est trouvé dans la position la plus favorable pour entreprendre une réforme si urgente : savant naturaliste, et chargé de faire un Cours public de Métallurgie, en même temps qu'il était placé à la tête de vastes établissemens, il est parvenu à lier intimement ses principes à la pratique. Pour ce qui est des faits, des consommations de matières par exemple, et de toutes les expériences qui exigent de longues observations, on doit nécessairement accorder une grande confiance aux données de ce métallurgiste ; d'autant plus que les usines allemandes, et surt-out celles des gouvernemens, sont administrées avec la plus stricte régularité, sous le rapport de la comptabilité des matières.

Quant à notre travail, nous avons gardé à l'original une rigoureuse fidélité sous le rapport du sens, mais nous avons retranché quelques répétitions ou longueurs. Par suite de ces retranchemens, on a pu réduire en trois les quatre volumes de la deuxième édition, composée comme la première de six parties : chacun de nos volumes en contiendra deux, savoir :

Tome I^er^. — *Propriétés chimiques et physiques du fer.*
2° *Matières premières.*

Tome II. — 3° *Machines soufflantes.* — 4° *Production de la fonte et fabrication des objets moulés.*

Tome III. — 5° *Préparation du fer ductile.* — 6° *Fabrication de l'acier.*

Les mesures et les poids étrangers ont disparu de l'ouvrage : on les a convertis en unités du système métrique. Voici les bases d'où l'on est parti pour faire les réductions :

	mèt.
Le pied de roi est égal à	0,32484
Le pied du Rhin est égal à	0,31385
Le pied de Berlin est égal à	0,30972
Le pied anglais est égal à	0,30476
	kil.
La livre de Berlin est égale à	0,46846
La livre de Breslaw est égale à	0,40547
La livre anglaise (avoir du poids)	0,453257

Le quintal de Prusse renferme 110 *livres de Berlin.*
Le quintal de Silésie renferme 132 *livres de Breslaw.*
Le quintal d'Angleterre renferme 112 *livres avoir du poids.*
Le tonneau anglais (1015 kil.) *renferme* 20 *quintaux.*

Par l'uniformité de poids et de mesures, introduite dans cet ouvrage, la comparaison des données fournies par les divers auteurs est devenue plus facile. Pour s'en convaincre pleinement, il suffit de jeter un coup-d'œil sur les tableaux des expériences relatives à la ténacité du fer.

Nous avons ajouté des notes au bas des pages, soit pour éclaircir le texte, soit pour expliquer des phénomènes annoncés seulement par l'auteur, soit enfin pour communiquer aux lecteurs les résultats de nos propres observations.

OBSERVATIONS

DU TRADUCTEUR

SUR LA THÉORIE ACTUELLE.

Les théories des sciences physiques, quoique toujours conjecturales, sont généralement utiles et nécessaires ; elles soulagent la mémoire, parce qu'elles rassemblent sous une même loi un grand nombre de faits isolés qui, d'anneau en anneau, se trouvent attachés à la même chaîne, bien qu'ils paraissent au premier coup-d'œil très-disparates ; elles viennent au secours du jugement, parce qu'elles rapprochent les phénomènes qui ont entre eux de l'analogie, qu'elles facilitent les découvertes, qu'elles tracent, pour ainsi dire, la marche qu'on doit suivre dans les recherches, et, en un mot, parce qu'elles réduisent l'établissement de nouvelles vérités à l'art d'intercaler les termes intermédiaires d'une série. Peu importe alors qu'elles soient vraies ou fausses, pourvu qu'elles se trouvent en harmonie avec les connaissances acquises. La chimie fut tirée de son néant par le système de Stahl, que nous regardons à présent comme absurde, mais qui néanmoins conduisit aux plus belles découvertes. C'est sous l'empire de la loi du phlogistique, que l'on

reconnut déjà les propriétés principales des sels, ainsi que les conditions de la dissolution des métaux dans les acides, et qu'on établit, pour la première fois, les principes qui devaient servir de base à la doctrine des proportions déterminées, dont l'application, simplifiant les analyses, contribue si efficacement aux progrès étonnans de la chimie moderne. C'est encore sous l'empire de la même loi, qu'on trouva la composition de l'eau, découverte qui porta le dernier coup à l'ancien système. Mais les théories hypothétiques ne peuvent être utiles, qu'en s'accordant avec les faits principaux de la science ou de l'art dont elles doivent réunir les lumières en un seul faisceau. Voyons jusqu'à quel point la théorie sur les différens états métalliques du fer, suivie jusqu'à présent, ainsi que celle de l'affinage de la fonte, qui en est une conséquence immédiate, peuvent satisfaire à cette condition.

Nous allons donc examiner les résultats des travaux des Vandermonde, Berthollet et Monge. En prononçant ces noms illustres, tout ancien élève de l'école polytechnique éprouve un sentiment d'admiration et de reconnaissance, sentiment que je crois partagé d'ailleurs par toutes les personnes qui se livrent à l'étude des sciences, et qui savent en apprécier le bienfait. Mais quel que soit le mérite de ces hommes célèbres, quels que soient leurs titres à notre admiration, nous ne devons pas oublier que dans leurs recherches nombreuses et profondes, ils ont pu commettre des erreurs, et que vouloir les perpétuer, ce serait rendre à ces amis de la vérité, un culte injurieux et idolâtre.

Les anciens métallurgistes s'accordaient tous à re-

garder l'acier comme un produit intermédiaire entre le fer et le régule ; quant aux deux espèces de fonte, leur opinion était très-variable.

Réaumur prétendait que le fer se trouvait combiné avec des soufres et des sels dans l'acier et dans la fonte, et que celle-ci contenait une plus grande quantité de ces substances que n'en renfermait celui-là. Il supposait en outre que le régule pouvait contenir accidentellement d'autres matières étrangères, et que la fonte blanche surpassait la grise sous le rapport de la pureté.

Bergman pensait que le fer, l'acier et la fonte contenaient du flogistique et de la plombagine regardée comme un soufre, ou un composé d'air fixe et de flogistique ; que le fer contenait moins de plombagine et plus de flogistique pur que l'acier ; et que la même différence existait entre ce dernier et la fonte grise. Pour ce qui est de la blanche, il supposait qu'elle contenait moins du principe de la chaleur que la première.

Rinman regardait le fer comme un composé très-variable, dont une partie des élémens étaient caractéristiques, et dont les autres étaient accidentels. Parmi ceux-là, il mettait au premier rang la terre de fer considérée dans toute sa pureté, et le flogistique dont il distinguait deux espèces différentes : un flogistique grossier ou matériel, composé de plusieurs substances susceptibles de changer le fer en acier, sans pouvoir pénétrer le verre ; et le flogistique élémentaire qui traversait les substances vitrifiées, réduisait la chaux de fer et la rendait attirable à l'aimant. « C'est donc, » dit-il, un fluide très-subtil qui est probablement élec-

» trique et constitue la matière du feu. »*. L'un et l'autre pouvaient se rencontrer dans le fer en différentes proportions. Le fer doux contenait plus de flogistique élémentaire ; mais la fonte grise renfermait plus de plombagine ou de ce flogistique impur et grossier ; tandis que la blanche en contenait moins. Enfin l'acier, parmi tous les fers, contenait la plus grande quantité de phlogistique ** ; de sorte que par la conversion de la fonte en acier ou en fer, le régule perdait une certaine quantité de flogistique grossier, et en acquérait une autre de flogistique élémentaire.

On voit du reste, à la lecture de ces anciens ouvrages, que leurs auteurs n'avaient que des idées vagues et confuses sur les différentes combinaisons de la chaux de fer avec le principe de la chaleur. Rinman qui hésite et varie dans son opinion, ajoute que la science n'est pas encore assez avancée pour qu'on puisse avoir sur la nature du fer, une opinion plus certaine et plus positive.

Telles étaient, en peu de mots, les connaissances théoriques qu'on avait sur les divers états métalliques du fer, quand on découvrit la décomposition de l'eau ; dès-lors tout fut changé. On reconnut que le gaz inflammable qui se dégageait de la dissolution du fer dans les acides, n'était point ce prétendu phlogistique qui s'échappait du fer, mais qu'il était dû à la

* Le premier de ces flogistiques est le carbone ; le deuxième était le phlogistique que les anciens chimistes inventèrent pour expliquer le phénomène de la combustion. C'est, pour parler un langage algébrique appliqué à la chimie, l'oxigène précédé du signe —.

** Voyez la préface de l'histoire du fer par Rinman, ainsi que les paragraphes 226, 227, 228 et 275.

présence de l'eau, dont il formait un des élémens. On se hâta donc de mettre à profit les lumières qu'on venait d'acquérir et de porter la réforme dans l'ancien système. Monge, Berthollet et Vandermonde se constituèrent les fondateurs de la nouvelle théorie, et réalisèrent les espérances qu'on devait concevoir de leurs talens; leur mémoire sur les différens états métalliques du fer, publié en 1786, fixa les idées et jeta une vive lumière sur cet objet. Ce mémoire fut accompagné en Allemagne, comme en France, d'une approbation générale. Tous les hommes instruits applaudirent à la nouvelle manière d'envisager le fer dans ses différentes modifications. Les sociétés savantes des pays étrangers proposèrent pour sujet de prix, une explication satisfaisante de l'affinage de la fonte, d'après le travail de Vandermonde, Berthollet et Monge; en un mot, leur opinion sur le fer, adoptée par tous les chimistes français et les métallurgistes allemands, était suivie sans aucune restriction. Cependant la théorie de l'affinage qui en a été déduite, se trouve en opposition avec plusieurs faits d'expérience; on ne tarda pas à s'en apercevoir, et l'on éprouva le besoin de modifier la nouvelle doctrine.

La fonte a été considérée par ces trois célèbres physiciens comme un régule dont la réduction n'étant pas complète, retient une portion de l'oxigène du minérai, et qui, en contact immédiat avec le charbon, absorbe une certaine dose de ce combustible, dont l'affinité pour le métal ne laisse aucun doute; d'après cela, ce seraient les proportions de ces deux substances qui feraient varier la nature du

fer cru, la fonte deviendrait blanche si elle contenait peu de charbon et beaucoup d'oxigène; elle serait grise dans le cas contraire. Ils pensaient que le fer parfaitement affiné serait celui qui ne contiendrait ni oxigène, ni charbon, ni aucune autre substance étrangère; que cependant il n'en existe point de cette espèce dans le commerce; que le meilleur fer de Suède conserve une partie d'oxigène, et se charge toujours d'une dose de charbon, très-petite à la vérité, mais assez grande pour en altérer les propriétés.

Ils supposaient en outre que dans l'acier de cémentation, le fer est complètement réduit, qu'il ne renferme plus d'oxigène, qu'il doit contenir une certaine dose de charbon pour acquérir une qualité déterminée, et que cette dose surpasse presque toujours la quantité de carbone contenue dans la plupart des fontes blanches. Sous le rapport de la réduction, l'acier serait donc un métal à part, plus pur que le fer; et sous le raport de la quantité de charbon qu'il contient, il n'aurait point de relation constante avec la fonte.

On sait que les auteurs de cette théorie ont constaté la combinaison du charbon ou de la plombagine avec le fer, et par l'analyse et par la synthèse, ou, ce qui revient au même, par la dissolution du métal dans les acides, et par la cémentation du fer dans les matières charbonneuses; ils croyaient, d'ailleurs, que la fonte blanche, qui ne laisse point de résidu noir, étant dissoute dans l'acide hydrochlorique, ou dans l'acide sulfurique étendu d'eau, ne contient presque pas de charbon.

Quant à la présence de l'oxigène dans le métal, ils pensaient qu'il serait difficile de concevoir que l'oxide de fer ait le temps de perdre tout son oxigène avant d'être noyé dans le creuset. Cette considération, jointe au fait d'expérience que les fontes dissoutes dans l'acide sulfurique étendu d'eau, donnent toujours un moindre volume d'hydrogène que n'en font dégager le fer ductile et l'acier, leur parut suffisante pour les autoriser à supposer que la réduction du fer cru était incomplète; d'autant plus que la fonte blanche donnait un moindre volume de gaz qu'on n'en obtenait avec la fonte grise, ce qui ne pouvait être expliqué par la présence du carbone, comme on le faisait pour l'acier, puisqu'il arrivait souvent que cette fonte leur semblait ne contenir presque point de matière charbonneuse.

Cela posé, voyons les conséquences immédiates qu'on a dû déduire et qui ont été déduites de ces principes appliqués à l'affinage de la fonte pour acier et pour fer, dans les feux de forge, et dans les fours à reverbère.

Puisque la fonte grise laisse, comme l'acier, un résidu noir, étant dissoute dans l'acide sulfurique étendu d'eau, et qu'elle contient moins d'oxigène et plus de carbone que n'en renferme la fonte blanche, elle doit se convertir plus facilement en acier. Il faut donc l'employer de préférence pour la préparation de ce métal.

Mais il n'en est pas ainsi : la fonte grise tenue longtemps en bain, et soumise à une faible influence de l'air atmosphérique, s'affine en partie, acquiert un certain degré de malléabilité, et ressemble alors au

mauvais fer, sans cependant se rapprocher de l'acier autant que la fonte blanche mise dans la même circonstance, ou grillée seulement en contact avec l'air atmosphérique. Dans les usines où l'on traite pour acier la fonte grise qui est ordinairement moins chargée de soufre que la fonte blanche, lorsque les minérais ne sont pas d'une grande pureté, le travail devient très-pénible. Dans le département de l'Isère, où l'on affine de la fonte grise, on ne fait dans un feu que 600 livres d'acier par trente heures *, et l'on obtiendrait dans le même temps une double quantité de fer; tandis que dans les usines de la Styrie, et sur-tout dans la principauté de Siegen, où l'on travaille sur fontes blanches ou blanchies, on obtient dans un temps donné, à peu près autant d'acier que de fer. Dans presque toute l'Allemagne septentrionale, on ne convertit en acier que les fontes grises. L'affinage devient long et pénible, bien qu'on l'abrége par une manipulation particulière qu'il serait peut-être avantageux d'introduire dans les départemens de l'Isère et de la Nièvre. En un mot, la fonte grise exige un travail très-long pour se convertir en acier, tandis qu'il est bien plus facile de l'affiner pour fer; mais la fonte blanche pure donne aussi facilement l'un que l'autre de ces deux produits. Il en résulte que l'idée qu'on se faisait de la composition de ces trois fers de natures différentes, doit manquer d'exactitude.

Il est facile, d'ailleurs, de prouver directement que la différence de la fonte blanche à la fonte grise, n'est pas due aux proportions des parties constituantes de

* Journal des usines, n° 4, page 3 – 23.

ces deux espèces de fer cru, puisque l'une passe à l'état de l'autre sans addition d'aucune substance étrangère. La fonte blanche refondue dans un creuset d'argile, à l'abri du contact de l'air et du charbon, soumise à un haut degré de chaleur et refroidie avec beaucoup de lenteur, devient parfaitement grise. La fonte grise, au contraire, se change en fonte blanche, si, étant à l'état liquide, elle se trouve refroidie d'une manière subite. On a voulu attribuer ce changement à l'oxidation, en prétendant que l'eau dont le sable des moules était imbibé, se décomposait et fournissait de l'oxigène à la fonte; mais le même phénomène se reproduit d'une manière bien plus sensible dans les moules de fer, parce qu'ils sont encore plus conducteurs du calorique.

De plus, la fonte blanche obtenue par un refroidissement subit et contenant la même dose de carbone qu'une fonte naturellement blanche, jouit aussi des mêmes propriétés, telles que la couleur, la texture, la dureté, l'aigreur, la pesanteur spécifique, la manière de se conduire au feu et dans les diverses opérations métallurgiques; il s'ensuit qu'elles ne peuvent différer entr'elles ni par la nature ni par les proportions de leurs élémens caractéristiques.

Mais quelle est donc la cause d'un changement si extraordinaire, qui fait d'une matière à cassure grenue, douce, attaquable à la lime et au foret, recevant l'impression du marteau facilement, qui en fait, dis-je, une substance à cassure blanche, lamelleuse et rayonnante, très-aigre, et si dure qu'elle résiste à l'acier fortement trempé? serait-ce une cause analogue à celle

qui produit le phénomène de la trempe? Cette idée simple qui se présente d'abord à l'esprit, se trouve pleinement confirmée par la théorie de M. Karsten, ou, pour nous exprimer plus exactement, par les résultats de ses expériences : la différence de l'un des faits à l'autre ne provient que du plus ou du moins, et de circonstances purement accidentelles.

La fonte blanche devenue grise au contraire par une seconde fusion suivie d'un lent refroidissement, éprouve une révolution chimique, semblable à celle que subit l'acier trempé, chauffé au rouge et refroidi avec lenteur, sans qu'il en résulte soit un gain, soit une perte de substances. Or l'analyse indique la nature de cette révolution. Mais nous ne voulons pas entrer dans le détail de la théorie de M. Karsten, qu'on ne peut bien connaître que par la lecture de son ouvrage. Il nous suffit de montrer les défectuosités de la théorie actuelle; elle se trouve en opposition avec certains faits, et ne peut servir à expliquer plusieurs phénomènes des plus intéressans.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des conclusions que les auteurs eux-mêmes ont tirées de leur système; mais la manière dont il a été appliqué plus tard à l'affinage de la fonte, dans les feux de forges et dans les fours à reverbère, n'a pas été plus heureuse, comme on peut le voir par les exemples suivans.

Puisque l'on croyait que la fonte blanche contenait plus d'oxigène que la grise, on pensait qu'il fallait l'affiner dans un feu dont la tuyère fût peu plongeante; et l'on recommandait expressément de donner à la tuyère moins de pente, lorsqu'on travaillerait sur fonte blan-

che, qu'on n'en donnerait si la fonte était grise. Cependant le contraire se pratique avec raison dans toutes les forges où l'on affine des fontes d'espèces différentes. On doit d'ailleurs se rappeler, pour sentir toute la portée de ce conseil, que l'inclinaison de la tuyère est de la plus haute importance dans l'affinage.

Comme la fonte blanche était supposée contenir peu de carbone et beaucoup d'oxigène, on a dû penser qu'elle ne pouvait être affinée avantageusement dans les fours à reverbère, parce qu'elle ne s'y trouvait pas en contact avec une substance charbonneuse qui pût en achever la désoxidation. On a donc recommandé aux maîtres de forges, de ne traiter que des fontes grises dans ces sortes de foyers; et comme ces méthodes d'affinage étaient encore toutes récentes en France, plusieurs propriétaires d'usines, se conformant aux conseils qu'ils avaient reçus, ont fait leurs essais avec ce fer cru, qui se traite difficilement dans les fours à reverbère. Ne parvenant qu'à de mauvais résultats, ils changèrent la construction des fours, varièrent le travail de différentes manières, et firent des expériences inutiles avant qu'ils ne connussent la cause de leur non réussite.

Ces faits nous prouvent que la théorie suivie jusqu'à présent, n'a pu prêter un secours efficace à la pratique. Cependant, c'est à cette théorie, ou plutôt à ses immortels fondateurs, que nous devons des idées positives sur les différens états métalliques du fer: leurs premiers principes subsisteront toujours; ils servent de base à la nouvelle théorie devenue nécessaire.

On doit demander comment il se fait que la fonte

blanche contenant autant ou plus de carbone que la grise, ainsi que le prouvent aussi les analyses faites par M. Karsten, donne souvent des résidus d'une couleur peu foncée, et fait dégager moins d'hydrogène que n'en développe la grise. Nous répondrons avec un chimiste célèbre, que l'acide sulfurique étendu d'eau, et l'acide hydrochlorique concentré, sont de très-mauvais réactifs lorsqu'il s'agit de découvrir la dose de charbon ou de soufre contenue dans le fer; que le carbone et le soufre peuvent s'échapper en entier avec l'hydrogène mis à nu, au point que la dissolution du protosulfure de fer dans l'acide hydrochlorique, n'offre pas une trace de soufre; qu'une dissolution de fonte blanche dans l'acide sulfurique non concentré, laisse souvent un résidu blanc, tandis que la même fonte, dissoute dans l'acide nitrique, donne un résidu noir. Si maintenant on admet avec M. Karsten, que le carbone est dissous en entier dans la fonte blanche, tandis que la fonte grise en contient la majeure partie à l'état de mélange, on conçoit facilement que l'hydrogène doit exercer une action dissolvante beaucoup plus énergique sur le carbone naissant de la fonte blanche, qu'il ne le ferait sur celui de la grise. Le résidu de la dissolution doit donc contenir bien moins de charbon, si la fonte est blanche, qu'il n'en contient lorsqu'elle est grise, et l'hydrogène doit être plus condensé dans le premier cas, et occuper, par conséquent, un moindre volume.

Ces observations ont été faites en partie par Vandermonde, Berthollet et Monge; mais ils ne remarquèrent pas que l'acide sulfurique étendu d'eau, qu'ils em-

ployèrent dans leurs expériences, ou plutôt que l'hydrogène dégagé, agissait différemment sur le carbone des deux espèces de fonte. A la simple inspection de ces deux régules, on doit être convaincu que le carbone est plus intimement combiné avec le métal dans la fonte blanche qu'il ne l'est dans la grise qui présente à la cassure l'aspect d'un mélange. Ce combustible se trouvant donc dans un état de plus grande ténuité dans l'un de ces régules, lorsque, par l'effet de l'oxidation, il est abandonné par le fer, doit être plus disposé à se dissoudre dans l'hydrogène. Cette remarque, si elle eût été faite, aurait donné lieu à de nouvelles recherches et aurait conduit peut-être au résultat énoncé par M. Berzelius.

Quoiqu'on ne puisse nier que la fonte grise et la noire ne doivent leur couleur à la présence de la plombagine, on ne peut en induire cependant, que la fonte blanche doive la sienne à l'absence du charbon, puisqu'il existe beaucoup de matières charbonneuses qui sont parfaitement blanches.

Si nous avons tâché d'établir en principe, que la différence de la fonte blanche à la grise ne doit être attribuée, ni à la présence de l'oxigène, ni aux proportions du carbone, nous ne prétendons pas, toutefois, que le fer ne puisse se combiner avec une petite dose d'oxigène et former des espèces de sous-oxides; mais rien ne prouve que la fonte soit un composé de cette nature.

M. Lampadius dit avoir obtenu une certaine quantité d'acide carbonique, en traitant le fer cru avec du charbon purgé de ce gaz. Mais ses expériences, qui sont

très-incertaines, peuvent s'expliquer facilement par la décomposition de la silice, provenant, soit du charbon, soit de la matière de la cornue.

Quant aux expériences en grand, que ce professeur a faites en traitant la fonte dans un four à reverbère, il me semble qu'on peut en tirer une conclusion bien différente de celle qu'on en a déduite.

Nous allons indiquer ces essais en peu de mots*.

Premier essai avec le simple feu du fourneau.

On versa de la fonte grise encore liquide, dans un four à réverbère et on la remua fréquemment. Après avoir bouillonné pendant quelques heures, elle devint blanche, un peu plus malléable, et se laissa traiter facilement, pour fer, dans un feu d'affinerie ordinaire.

Deuxième essai; le feu du four étant secondé par l'eau en vapeur.

On versa dans un four à reverbère trois quintaux de fonte grise, qu'on venait de puiser dans le haut fourneau. On mit dans une cornue tubulée 9 à 10 kilogrammes d'eau; on adapta au col un canon de fusil communiquant avec le foyer, et l'on fit bouillir cette eau de manière que les vapeurs se répandissent avec la flamme sur le bain de fonte, qu'on remua de temps à autre. Le bouillonnement qui arriva plus tôt fut plus considérable, et la flamme sortant de la cheminée devint plus claire. On renouvela l'eau, et lorsque le métal épaissi manifesta le caractère du fer affiné, on

* Voyez le Journal des Mines, vol. 16, pag. 293—302.

arrêta l'opération. Le grain du fer était plus fin que celui qu'on avait obtenu précédemment et la masse était criblée de soufflures.

Ce fer livré à l'affineur, était beaucoup plus difficile à traiter que la fonte ordinaire ; mis dans une cornue avec du charbon purgé d'acide carbonique, il donna une plus grande quantité de gaz que n'en fait dégager la fonte blanche ou la grise.

Troisième essai, le feu du four étant secondé par l'action d'un soufflet.

On opéra dans le même foyer ; la cornue était remplacée par un soufflet dont le courant d'air, parallèle à la flamme, donnait sur le bain de fonte.

La chaleur devint beaucoup plus intense qu'elle ne l'avait été dans les essais précédens, et les phénomènes de l'affinage se manifestèrent plus tôt ; mais la matière conserva plus long-temps sa liquidité : elle était encore très-fluide au bout de quatre heures. On se mit alors à la travailler, afin d'en exposer toutes les parties au contact de l'air. Cette opération éleva le degré de température, et produisit une scintillation semblable à celle de l'acier mis en combustion dans le gaz oxigène ; aussitôt qu'on cessait de remuer, tout redevenait tranquille.

Enfin on n'arrêta l'opération qu'au bout de sept heures, lorsque le métal parut s'épaissir ; parce qu'il diminua considérablement en quantité.

Le fer ayant été traité dans une cornue avec du charbon, donna moins d'acide carbonique qu'on n'en retira de celui qui fut obtenu par le deuxième essai. Les

quantités d'oxigène des deux dernières espèces de fer et celles de la fonte grise et de la blanche, étaient supposées être entre elles dans le rapport suivant :

Fer dit suraffiné par l'eau en vapeurs . . .	192	Les nombres représentent les proportions cubes d'acide carbonique obtenus avec une demi-livre de métal.
id. par un soufflet.	174	
Fonte blanche ordinaire	165	
Fonte grise	99	

On pensa que ces expériences, dont nous avons donné une idée succincte, venaient à l'appui de la théorie.

Si l'on voulait adopter les conclusions de l'auteur, en admettant que l'oxigène ne pénètre pas à travers les pores de la cornue ; qu'il ne provient ni de la matière de ce vase ni du charbon ni des scories renfermées dans le métal, il en résulterait que le fer peut, en se combinant avec une petite dose de ce fluide, former des sous-oxides. Mais comment concilier alors le rôle que, dans la théorie, on fait jouer à l'oxigène, avec la manière de se comporter de ces fers dits suraffinés ? On dit que l'oxigène rend la fonte plus dure, plus cassante et plus fusible. Comment se fait-il alors que le fer ayant absorbé une très-petite dose d'oxigène de plus qu'il n'en contient à l'état de gueuse blanche, soit devenu doux, malléable et beaucoup plus réfractaire ? Le caractère le plus distinctif de la fonte comparativement au fer ductile, c'est la fusibilité et le défaut de malléabilité. Il s'ensuit donc que l'oxigène ne peut être regardé comme un principe caractéristique du régule, ainsi qu'on l'a prétendu ; puisque, d'après les expériences que nous venons de rapporter et dont nous voulons même admettre pour le moment toutes les conséquences ; puisque, dis-je, il existe du fer contenant à peu près autant, et même

un peu plus d'oxigène que la fonte blanche, et se rapprochant néanmoins du fer ductile auquel il ressemble, sur-tout sous le rapport du haut degré de chaleur qu'il faut employer pour le mettre en fusion. Aucun fait n'est donc plus contraire à la doctrine reçue que ces essais présentés pour en être une confirmation.

Plusieurs personnes regardent l'effervescence qui a lieu au moment où le métal passe à l'état de fer ductile, comme une preuve de la présence de l'oxigène dans la fonte ; mais cette effervescence n'est due qu'à l'action énergique du courant d'air dont l'oxigène se combinant avec le carbone produit de l'acide carbonique qui, en se dégageant, soulève les scories dont le fer est toujours enveloppé ; car, si l'on opère l'affinage par des additions de laitiers riches, plutôt que par l'oxigène libre, le bouillonnement, s'il a lieu, est très-faible. C'est pour cette raison que la méthode allemande, dans laquelle on fait un usage moins fréquent de ces additions, a été appelée par les suédois, *affinage par bouillonnement.*

Dans la relation du troisième essai que nous venons de citer, il est dit *que la masse devenait tranquille aussitôt qu'on cessait de la remuer.* Il s'ensuit que l'effervescence ne provenait pas de l'oxigène contenu dans le métal, et qu'on doit l'attribuer seulement au contact de l'air et au renouvellement des surfaces.

On a regardé aussi les ampoules du fer qui a été soumis à la cémentation, comme une preuve que la réduction n'en était pas complète, et qu'il se trouvait encore combiné avec une certaine partie d'oxigène. D'un autre côté on suppose le fer mou plus pur, plus

affiné que le fer dur. Mais il est prouvé que c'est précisément le fer mou qui se couvre le plus de ces bulles, tandis que le fer dur changé en acier, en est quelquefois entièrement exempt. On ferait la même objection aux personnes qui supposeraient que c'est l'hydrogène abandonné par le carbone au moment où ce dernier entre en combinaison avec le métal, qui est la cause de ce phénomène que nous avons expliqué, du reste, dans une note ajoutée au paragraphe 1117 de la première édition*.

Si l'on admettait avec les partisans de la théorie reçue, que le régule et le fer ductile ne sont pas entièrement désoxidés, comment se ferait-il donc que la fonte ne se boursouffle pas comme le fer, lorsque, pour la rendre malléable, on la cémente, soit dans la poussière de charbon, soit dans des cendres d'os? Réaumur et Rinman, dans leurs nombreux essais, ne remarquèrent jamais d'ampoules sur la fonte traitée de la sorte; et ce n'est point par oubli qu'ils négligèrent de faire mention d'une circonstance si importante, puisque les soufflures auraient mis hors de service les objets de fer cru qu'ils cémentèrent pour les adoucir.

Metz, le 1^er^ novembre 1829.

F. J. CULMANN.

* Cette explication, qui a paru satisfaisante à M. Karsten, a été insérée en partie dans le texte de la deuxième édition (paragraphe 1373). D'autres notes que nous avions ajoutées à la première édition, ayant mérité l'approbation de l'auteur, ont aussi trouvé leur place dans le texte de cette nouvelle édition.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRES DE PARAGRAPHES.

INTRODUCTION.

Définition et objet de la *minéralurgie*, §. §. 1 et 2
De la docimasie, 3
Division de la *minéralurgie*, 4 à 7
Idée plus précise du but de la minéralurgie, 8, 9, 10
Moyens de parvenir à ce but, 11 à 21
Limites de la minéralurgie considérée comme art scientifique, 22, 23
De la sidérurgie, 24
De l'étendue de la sidérurgie, 25 à 31
Raisons qui se sont opposées au perfectionnement de cette partie de la minéralurgie, 32
Histoire du fer, 33 à 38
Etat littéraire et scientifique de la sidérurgie, 39
De l'importance de cette branche d'industrie. — Moyens de la favoriser, 40
Dans quel état se trouve l'art des forges dans les différens pays, 41, 42

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DU FER.

DE LA COULEUR DU FER.

Couleur du fer pur, de l'acier, de la fonte blanche et de la fonte grise, 43 à 49
Moyens de faire ressortir la couleur et l'éclat du fer, 50

DE LA TEXTURE DU FER.

Texture et densité du fer pur, 51 à 54
Note du Traducteur sur le changement de la texture du fer.
Texture de l'acier, 55
Texture du fer cru, 56 à 58
Densité de l'acier et du fer cru, 59

DE LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE DU FER.

Pesanteur spécifique des métaux, 60
Pesanteur spécifique du fer dans ses trois états différens, 61 à 63

DE L'ADHÉSION.

De l'adhérion du fer, 64

DE LA DURETÉ DU FER.

Du fer fort et dur, du fer fort et mou, 65
Dureté de l'acier, 66
Dureté du fer cru, 67

De *l'aigreur* et de la dureté du fer à la température ordinaire et dans les températures élevées, 68, 69.

DE LA TÉNACITÉ DU FER.

Généralités sur la ténacité du fer, 70, 71
Extension que le fer est susceptible de prendre d'après Trédgold, Duleau, Telfort et Séguin, 72

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DU FER DUCTILE.

Détermination de la ténacité absolue du fer, d'après les expériences de Muschenbroch, Soufflot, Telfort, Brown, Séguin et Brunel, 73
Conclusion, 74, 75

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DE L'ACIER.

Expériences de Muschenbrock et de Rennie, 76

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DE LA FONTE.

Généralités sur la ténacité absolue de la fonte, 77
Données de Tredgold, Brown, Regnier, etc., 78
Conclusion, 79.

DE LA TÉNACITÉ RELATIVE DU FER.

Généralités sur la ténacité relative du fer et de la fonte, 80
Expériences de Rondelet sur le fer ductile, 81
Id. de Rennie, de Karsten, sur la fonte, 82
Ténacité relative de l'acier, 83

DE LA TÉNACITÉ RESPECTIVE DU FER.

Généralités sur la ténacité respective du fer, 84
Données de M. Duleau, 85
Id de M. Texier de Norbeck, 86
Calculs et expériences de MM. Tredgold et Gazeran sur la ténacité respective de la fonte, 87, 88

Voyez les notes du Trad^r sur ces calculs, 84, 86 et 88
Conclusion, 89
Résistance de la force de torsion, 90
Comparaison entre la ténacité du fer et celle des autres métaux, 91
Influence de l'aigreur et de la flexibilité sur la ténacité du fer, 92, 93
De la ductilité, 94
De la malléabilité, 95

DU MAGNÉTISME DU FER.

Du magnétisme en général, 96
De la magnétisation du fer, expériences de MM. Oersted, Arago et Seebeck, 97 à 99
Différence entre les propriétés magnétiques du fer, celles de l'acier et celles de la fonte, 100 à 102
Comment la vertu magnétique du fer se trouve détruite, 103

DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU FER.

Propriétés électriques, 104

DES PROPRIÉTÉS DU FER DANS LES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

De la capacité du fer pour le calorique, et de la conductricité, 105 à 107
Influence du calorique sur la résistance du fer éprouvé au choc, 108

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à l'ébullition de l'eau.

De la *dilatation* du fer jusqu'à la température de l'ébullition de l'eau, 109, 110
Comparaison de la dilatation du fer avec celle de plusieurs autres corps, 111

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la chaleur rouge.

De la dilatation du fer depuis 0° jusqu'à la chaleur rouge, 112
Des changemens de couleur du fer chauffé au-dessous de la chaleur lumineuse (couleur du recuit), 113 à 116
Propriétés du fer, de la fonte et de l'acier, à la température des couleurs du recuit, 117
Influence de la chaleur rouge sur le fer, 118

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la température de la fusion.

Généralités sur le fer, l'acier et la fonte considérés à la chaleur blanche, 119 à 121
De la dilatation du fer, de l'acier et de la fonte, à la chaleur blanche, 122
Des propriétés du fer, de l'acier et de la fonte, à la température de la fusion, 123

Des propriétés du fer ductile dans les températures élevées.

De la soudabilité, fer rouverin et fer cassant à froid, 124
Influences de l'air atmosphérique sur le fer pendant les chaudes. — Moyens d'éviter le contact de l'air, 125 à 127
Des chaudes données au fer sans le contact de l'air, et des chaudes sèches, 128
Des chaudes au milieu de menus charbons. — Chaudes suantes. — Le fer peut reprendre sa crudité, 129 à 133
De la liquéfaction du fer ductile hors du contact de l'air, 134

Des propriétés de l'acier dans les températures élevées.

Des chaudes données à l'acier, avec ou sans le contact de l'air, 135 à 138
De la liquéfaction de l'acier. — Acier fondu, 139

Des propriétés de la fonte dans les températures élevées.

Des propriétés générales du fer cru dans les températures élevées, avec ou sans le contact de l'air, 140 à 143
De la fonte grise. Refroidissement subit de cette espèce de fer cru, 144, 145
De la fonte blanche, 146 à 148
Comparaison entre les propriétés des deux espèces de fonte, chauffées à l'état solide ou mises en fusion, 149, 150
Comparaison entre l'acier trempé et la fonte blanche, ainsi qu'entre l'acier non trempé et la fonte grise, 151
Des règles qu'il faut observer pour refondre le fer cru, 152
Des moyens d'adoucir la fonte, 153, 154

DE L'ACTION DE L'OXIGÈNE SUR LE FER.

Effet produit par l'air sur le fer rouge de feu, 155
Des *paillettes* ou battitures de fer, 156
Du protoxide de fer, 157
Composition des battitures, 158
Différence entre les battitures et les scories de forge, 159
Du peroxide, 160
Des différens degrés d'oxidation de fer, 161, 162
Du magnétisme des oxides, 163

DE L'ACTION DE L'EAU SUR LE FER.

De la température à laquelle l'eau agit sur le fer, 164, 165
De l'hydrate de fer, 166, 167

DE L'INFLUENCE DE L'AIR HUMIDE SUR LE FER.

De la rouille, 168
Des changemens qu'éprouvent le fer, la fonte et l'acier exposés à l'air humide. — Des procédés employés pour les empêcher de se rouiller, 169
Vernis, couleurs du recuit et bronzage, 170

DE L'ACTION DU CHARBON SUR LE FER.

Généralités sur la combinaison du fer avec le carbone, 171, 172
Du graphite, 173
Du carbone combiné avec le fer, la fonte et l'acier, 174
De la présence de l'oxigène dans le fer cru, 175
De la quantité de carbone contenue dans la fonte blanche, dans l'acier et dans le fer ductile, 176 à 178
De la quantité de graphite contenue dans la fonte grise, 179
Comparaison entre les propriétés du fer, de l'acier et de la fonte sous le rapport de la combinaison du métal avec le carbone, 180 à 182

DE L'ACTION DU SOUFRE SUR LE FER.

Affinité du soufre pour le fer, 183
Des degrés de sulfuration du fer, 184 à 189
De la préparation du soufre au moyen des pyrites, 190
De la combinaison du fer avec le soufre par la voie humide, 191
De l'influence du soufre sur les propriétés du fer. — Fer rouverin, 192, 193

DE L'ACTION DU PHOSPHORE SUR LE FER.

De la combinaison du fer avec le phosphore, 194, 195
De l'influence du phosphore sur les propriétés du fer. — *Sidérite.* — Fer cassant à froid, 196 à 198

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE SOUFRE.

De la combinaison du carbone avec le soufre, et de la combinaison de leur produit avec le fer, 199 à 201
Influence du soufre sur le fer qui est carburé, 202 à 203

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE PHOSPHORE.

De la combinaison de ces trois corps, et de l'influence du phosphore sur le fer qui est carburé, 204 à 206

DE L'ACTION DES ACIDES SUR LE FER.

Des conditions d'où dépend la dissolution des métaux dans les acides, 207
De l'influence des corps combinés avec le fer, lorsqu'on le dissout dans les acides, 208
Des gaz qui se développent pendant la dissolution, 209
De la quantité de gaz obtenu avec le fer, l'acier ou la fonte, 210
Causes de la différence entre ces quantités de gaz, 211, 212
Le carbone, le phosphore et le soufre influent sur le temps qui est nécessaire pour dissoudre le fer, 213
Comment on reconnaît l'acier au moyen des acides, 214
Des phénomènes que présentent le fer, l'acier et la fonte par leur dissolution dans les acides, et conclusions qu'on peut en tirer sur la combinaison du carbone avec le métal, 215 à 220
Des propriétés des différens acides par rapport au fer; leur classement selon l'action qu'ils exercent sur ce métal, 221
De combien de manières le fer se combine avec les acides, 222
Du classement des métaux et de leurs oxides selon leur degré d'affinité pour les acides, 223
Pour doser le fer contenu dans une dissolution, il faut l'oxider au maximum, 224
Du fer mis en contact avec l'acide carbonique, 225
Idem avec l'acide sulfurique, 226
Propriétés des sulfates de fer, 227, 228
Du fer mis en contact avec l'acide sulfureux, 229
Idem avec l'acide nitrique, 230
Idem avec l'acide hydrochlorique. — Chlorure de fer, 231
Idem avec l'eau régale (acide hydronitrochlorique), 232
Idem avec l'acide arsénique, 233
Idem avec l'acide phosphorique. — Bleu de Prusse naturel, 234
Idem avec l'acide boracique, 235
Idem avec l'acide acétique, 236

Du fer mis en contact avec les acides citrique, oxalique, tartarique, sébacique, benzoique et succinique, 237
Idem avec l'iode et l'acide hydriodique, 238
Idem avec l'hydrogène sulfuré et avec les hydrosulfures, 239
Idem avec le cyanogène. — Bleu de Prusse, 240 à 242
Idem avec l'acide gallique. — Tanin, 243
Des moyens de graver ou de damasser l'acier à l'aide des acides, 244
Du Décapage, 245

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES ALKALIS.

Influence des alkalis sur la nature et les propriétés du fer, 246, 247

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES BASES TERREUSES.

Combinaison du fer avec les métaux terreux, 248
Idem le silicium, 249 à 251
Idem l'aluminium, 252
Idem le calcium, 253
Idem le magnésium et le barium, 254

DE LA COMBINAISON DU FER AVEC LES AUTRES MÉTAUX.

Généralités sur les alliages des métaux, 255
Combinaison du fer avec l'or.—De la dorure sur fer, 256, 257
Idem avec l'argent. — Influence de ce dernier sur les propriétés de l'autre, 258, 259
De l'argenture sur fer, 260
Idem avec le mercure, 261
Idem avec le platine, 262
Idem avec le cuivre, 263 à 265
Ce que c'est que braser le fer, 266
Idem avec le plomb, 267, 268

Combinaison du fer avec l'étain, 269
Etamage, 270
Idem avec le zinc, 271 à 274
Etamage avec le zinc, 275
Idem avec le bismuth, 276
Idem avec l'antimoine, 277
Idem avec l'arsenic, 278, 279
Idem avec le nikel, 280, 281
Idem avec le cobalt, 282
Idem avec l'urane, le tellure, le tantale, le cérium, le molybdène, etc., 283
Idem avec le titane et le tungstène, 284 à 286
Idem avec le chrome, 287
Idem avec le palladium, le rhodium, l'osmium et l'iridium, 288
Idem avec le manganèse.—Influence du manganèse sur la nature du fer et de l'acier, 289 à 292

DE L'ACTION DU FER SUR LES OXIDES MÉTALLIQUES.

Le fer réduit les oxides métalliques, 293

DE L'ACTION DU FER SUR LES SELS.

Généralités sur la manière dont le fer se comporte à l'égard des sels, 294, 295
Action du fer sur les carbonates, 296, 297
Idem les sulfates, 298
Idem les nitrates, 299
Idem les hydrochlorates, 300, 301
Idem les acides végétaux, 302
Idem les phosphates et les arseniates, 303, 304

DU FER OXIDÉ EN CONTACT AVEC D'AUTRES SUBSTANCES.

De l'oxide de fer en contact avec le charbon, 305, 306
Idem avec le soufre, 307
Idem avec le phosphore, 308

Des phénomènes de la réduction des oxides de fer par le charbon, 309
Des oxides de fer en contact avec d'autres oxides. — Des laitiers ou scories, 310
Des oxides de fer en contact avec les alkalis, les terres et d'autres oxides, 311, 312
Du fer oxidé naturel, 313

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Différences qui existent entre les fers carburés, et passage de l'un à l'état de l'autre, 314 à 318
Comparaison entre les diverses espèces de fonte, 319 à 322
Les métaux qu'on veut allier au fer ne se conduisent pas de la même manière avec le fer pur qu'avec le fer carburé, 323 à 325
De la fonte qu'il faut préférer pour l'affinage, 326 à 330

DE L'ANALYSE DES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE FER.

Procédé complet pour analyser le fer et déterminer les substances étrangères qu'il renferme, 331 à 336

DEUXIÈME SECTION.

DES MATIÈRES PREMIÈRES

EMPLOYÉES POUR L'EXTRACTION DU FER.

PREMIÈRE DIVISION.

DES MINÉRAIS DE FER.

Ce qu'on doit entendre par minérai de fer, 337
Classification des minérais de fer, 338
Du fer natif, météorique, 339, 340

Du fer météorique artificiel ; 341
Du fer natif terrestre, 342
Du fer à l'état métallique, combiné avec le soufre et l'arsenic,
Des sulfures de fer naturels, 343 à 346
Du fer arsenical et de la manière de le traiter ; 347 à 350
Du fer combiné avec le tantale, 351
Du fer combiné avec l'oxigène, 352
Du fer magnétique ; 353 à 356
Des oxides naturels hydratés ou anhydres ; 357
Du fer spéculaire, et de l'oxide rouge ; 358 à 360
Des minérais de fer bruns, 361
Des minérais de fer noirs, 362
Du fer terreux limoneux, 363
Du fer argileux, 364, 365
Des fers bruns dits mines douces, 366
Composition des fers bruns et des fers argileux, 367
Composition des fers limoneux ; 368
Des oxides naturels combinés avec les acides, 369
Du fer titané, 370
Du tungstate de fer, 371
Du fer chromé, 372
Du fer silicaté, fer siliceux, 373 à 375
Du silicate d'oxidule, 376
Du silicate d'oxide, 377
Propriétés des fers siliceux ; 378
Du fer carbonaté, 379, 380
Du fer spatique, 381 à 384
Du fer carbonaté argileux ou *sphérosidérite*, 385
Du fer phosphaté, 386
Du fer arseniaté, 387
Du fer ou piciforme ou resinite, 388

GÉNÉRALITÉS SUR LES OPÉRATIONS QUE L'ON FAIT ÉPROUVER AUX MINÉRAIS, AVANT DE LES FONDRE.

Des circonstances particulières qui changent les produits de la réduction des minérais, 389 à 391

De l'influence de la plus ou moins grande fusibilité des terres sur le traitement des minérais, 392 à 396
De la classification des minérais adoptée en Suède sous le point de vue métallurgique, 397, 398
De la nature du produit que fournissent les minérais riches, 399, 400
Comment la décomposition spontanée ou le grillage des minérais influe sur leur manière de se comporter pendant la réduction, 401 à 411
De la division mécanique des minérais, 412
Du mélange des minérais et des additions de fondans, 413 à 418
Du degré de fusibilité des terres prises seules ou de leurs mélanges, 419, 420

DES ESSAIS PAR LA VOIE SÈCHE, ET DES ANALYSES.

Généralités sur les essais des minérais de fer, 421
De leur incertitude, 422 à 424
Des essais de fondans, 425
Du lotissage et de la préparation du minérai qu'on veut essayer, 426
De la manière de faire les essais par la voie sèche, 427, 428
De l'influence des flux sur le succès de l'opération, 429
Des flux qu'il faut employer eu égard à la nature des minérais, 430
Les essais en petit ne peuvent guères faire juger de la qualité du fer, 431
Procédés à suivre pour faire une *analyse complète*, 432 à 440

DE L'EXTRACTION ET DE LA PRÉPARATION DES MINÉRAIS.

Généralités sur l'exploitation des mines, 441
De l'exploitation des filons, 442
Des travaux d'arrachement dans les terrains secondaires et dans les terrains d'alluvion, 443
De la recherche des minérais, 444
Du triage à la main et du lavage des minérais, 445, 446

Du grillage et du bocardage.

But du grillage, précautions qu'il exige, 447 à 449
Grillage à l'air libre, 450
Grillage dans une enceinte, 451
Grillage dans des fourneaux, 452, 453
Du bocardage, 454

DES FONDANS.

Nécessité des fondans, 455
Sur le choix des fondans, 456, 457
Manière de les employer, 458
Des fondans ferrifères, 459

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS DE FER.

Des différens modes de réduction, 460, 461
De l'affinage immédiat des minérais, 462
De leur traitement dans les fourneaux à cuve, appelés stückofen, flüssofen et hauts fourneaux, 463 à 465
Du choix qu'on doit faire entre ces différens foyers, eu égard à la nature des minérais, 466 à 468

DEUXIÈME DIVISION.

DES COMBUSTIBLES.

La préparation des combustibles est une partie essentielle de l'art des forges, 469
Le combustible doit aussi servir de réactif, 470, 471
Dans quel état on doit employer les combustibles crus ou carbonisés, 472, 473
Généralités sur la carbonisation, 474
De la combustibilité des différentes espèces de charbon, 475

De la relation qui existe entre l'effet qu'ils produisent et leur combustibilité, 476
Du rapport entre l'effet produit et le temps employé à la combustion, 477

DU BOIS ET DU CHARBON DE BOIS.

Des différentes essences de bois converties ordinairement en charbon, 478, 479
De l'exploitation des forêts, 480
De la pesanteur spécifique des diverses essences de bois, 481, 482
De la quantité de chaleur dégagée par les différentes essences, 483
De la quantité de carbone contenu dans les différentes essences, 484 à 489
De la pesanteur spécifique des différentes espèces de charbon végétal, 490, 491
De l'influence de la nature du bois sur le charbon qu'il produit, 492
De la quantité de cendres contenues dans le bois ou dans le charbon, 493
Comparaison entre les différentes espèces de charbon de bois, sous le rapport de l'effet qu'elles produisent, 494
De la quantité de charbon qu'on peut retirer du bois, par la carbonisation en grand, 495
Des limites qui doivent exister entre l'administration des usines et celle des forêts, 496
Des coupes et de la saison où elles doivent avoir lieu, 497
Du dressage par cordes, 498, 499
Du bois de souches, 500
Du lieu où se pratique la carbonisation, 501
Des fourneaux à goudron, 502
Des fourneaux de carbonisation activés par un courant d'air, 503
De la carbonisation dans les fosses, 504
Carbonisation opérée dans des fourneaux chauffés par des canaux de chaleur, 505
De la carbonisation par tas, 506, 507

De la carbonisation en meules, 508
De la saison la plus avantageuse pour carboniser le bois, 509
De la carbonisation sur des fauldes en pierres ou en feuilles de tôle, 510
Comment on doit préparer les fauldes, 511, 512
Du dressage des meules, 513 à 515
Comparaison entre les meules à bois debout, et les meules à bois couché, 516
Des précautions qu'on doit prendre en carbonisant le bois de souche, 517
De la couverture des meules, appelée *bouge*, 518 à 520
De la manière dont il faut conduire le feu, 521 à 528
Des précautions qu'il faut prendre pour refroidir et découvrir la meule, 529
Comment on doit *tirer* le charbon, 530
De la durée de la carbonisation, 531
Des fumerons; et du transport des charbons, 532
Comparaison entre des charbons frais et ceux qui ont séjourné dans les halles. — Le charbon trop vieux perd de sa qualité, 533
A quoi l'on reconnaît le bon charbon. — Influence de la nature du bois, du mode de carbonisation et de l'humidité sur la qualité du charbon, 534

DE LA TOURBE ET DU CHARBON DE TOURBE.

Des différentes espèces de tourbes, 535
Des cendres qu'elles contiennent, 536
De l'emploi de la tourbe pour les feux de flamme, 537
De la formation de la tourbe, et de la quantité de charbon qu'elle peut donner par la carbonisation en grand, 538 à 540
De son emploi dans les travaux sidérotechniques, 541
De l'exploitation des tourbières, 542
De la carbonisation de la tourbe dans des fourneaux, dans des fosses ou en meules, 543

DU BOIS FOSSILE, DE LA HOUILLE ET DU COKE.

Si le charbon est tout formé dans la houille, 544
Différence qui existe entre la houille brune et la houille noire, 545 à 547
De l'anthracite et du graphite, 548
Du bois fossile, 549
De l'emploi du bois fossile pour les opérations métallurgiques, 550 à 551
De la quantité de charbons qu'on obtient du bois fossile. — Jayet, 552
De la quantité de charbon qu'on peut obtenir de la houille. — Houilles sèche, maigre ou grasse, 553 à 555
Degré de chaleur nécessaire pour la décomposition de la houille; et produits liquides qu'on obtient, 556, 557
De la pesanteur spécifique de la houille, 558
Des cendres qu'elle contient, 559
Quantités de charbon données par plusieurs houilles sèches, maigres ou grasses, 560
Analyses de plusieurs houilles, 561
Des caractères extérieurs qui servent à faire juger de la composition de la houille, 562
De l'anthracite fibreux ou charbon de bois minéral, 563
De la variation qu'éprouve le contenu de carbone, bien que la houille soit toujours de la même espèce. — Couches alternatives, 564
Des fissures ou fentes qui divisent les bancs de houilles, 565
Des couches de charbon minéral qui traversent la houille et produisent des solutions de continuité, 566
Les classifications oryctognostiques ne sont point fondées sur la nature ou la composition de la houille, 567
Comment se comportent les différentes espèces de houilles brûlées dans les fours à reverbère, 568, 569
Quelles sont les houilles qu'on peut convertir en coke, 570 à 573
De la houille en gros morceaux et de la menue houille. — Dans quels cas on peut carboniser la menue houille. 574

Généralités sur la carbonisation. — De la carbonisation en meules rondes. 575
De la carbonisation en tas alongés ou en meules longues, 576, 577
Perfectionnement de cette méthode, 578
De la carbonisation de la menue houille dans des fours à voûtes surbaissées, 579, 580
De la carbonisation de la houille dans des vaisseaux clos pour en retirer le goudron et l'huile, 581
De la carbonisation de la houille dans des fourneaux, 582, 583
De l'influence des différens procédés de carbonisation sur la qualité du coke. — Comment on recueille les produits de la distillation, 584
De la quantité de coke fournie par la houille, 585
Signe auxquels on connaît la qualité de ce combustible, 586
Du coke considéré comme charbon, 587
De l'influence de l'eau sur la houille et sur le coke, 588
De la préférence qu'il faut accorder à tel ou tel coke, 589
Des cokes qui peuvent être employés dans les hauts fourneaux, 590
Comparaison, sous le rapport de l'effet produit, entre les houilles pesantes et les houilles légères, ainsi qu'entre leurs cokes, 591
Comparaison entre l'effet du bois et celui de la houille, 592
Id. entre le coke et le charbon de bois, 593
De la préférence qu'il faut accorder au coke ou au charbon de bois pour le traitement des minérais, 594

FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

AVIS.

Les planches se trouvent à la fin de chaque volume: le premier n'en a qu'une, le deuxième en aura neuf et le troisième en aura huit.

On a renvoyé à la fin du texte les citations d'auteurs, qui, dans l'original, sont intercalées entre les paragraphes.

ERRATA.

Pag.	*Lig.*		*Lisez.*
12	15	sudérurgie	sidérurgie.
18	27	doit qu'il	qu'il doit.
71	8	demi	demie.
82	3	Garneron	Gazeran.
88	29	amptitude	amplitude.
109	27	ou	au.
111	2	on	ou.
123	23	le	les.
142	18	du	de.
143	17	j'ai	j'en ai.
172	10	graphitense	graphiteuse.
178	7	précipe	précipite.
183	14	soumis	soumise.
186	34	proxide	peroxide.
198	3	un	on.
211	27	phospaore	phosphore.
234	4	de	du.
262	17	ne constituent pas	ne constituent.
272	2	la moitié	de la moitié.
275	3	le	la.
378	21	Chevreuse	Cheuvreusse.
441	13	état	éclat.

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER.

INTRODUCTION.

1. La *minéralurgie* est une partie de la chimie appliquée aux arts: elle nous enseigne à obtenir en grand, avec le plus d'économie possible, les corps renfermés dans les diverses productions du règne minéral *.

2. La substance soumise à l'opération s'appelle *minérai*. Le corps qui est le résultat du travail, se nomme le *produit*. La quantité de ce corps obtenue par les opérations en grand, est le *rapport* du minérai. La quantité absolue qu'il contient, est sa *richesse* ou sa *teneur*; cette dernière expression se prend quelquefois aussi pour le rapport.

3. La docimasie ou l'art de l'essai enseigne les règles de la réduction des minérais en petit, comme la minéralurgie enseigne celle de leur traitement en grand. Ainsi la docimasie et la minéralurgie ne diffèrent que par leurs procédés, car elles ont le même but. S'il était possible d'opérer en grand, comme dans un laboratoire de chimie, la minéralurgie se confondrait avec la docimasie. Mais, comme cela est inexécutable, tant sous le rapport des dispositions particulières, que sous celui de l'économie, on doit faire

* La minéralurgie comprend donc la métallurgie, qui ne s'occupe que de la réduction des substances métallifères. Le Traducteur.

une différence entre ces deux méthodes de réduction. La docimasie, ne travaillant que sur de petites quantités, fait connaître avec plus d'exactitude ce qui est contenu dans chaque minérai. C'est le flambeau qui éclaire et guide le minéralurgiste dans ses opérations; elle fait donc essentiellement partie de la minéralurgie.

4. Chaque corps que l'on cherche, exige un mode d'opération distinct, dépendant de la nature des minérais ou des propriétés du résultat. La minéralurgie et la docimasie se divisent par conséquent en autant de branches qu'il y a de produits à obtenir. Il existe une minéralurgie pour l'or, comme il en existe une pour l'argent, pour le fer, pour le soufre, pour le sel de cuisine, etc.; et chaque minéralurgie ou métallurgie spéciale doit tirer son nom du produit qui est l'objet de ses opérations; ainsi nous appellerons métallurgie du fer l'art de la préparation de ce métal.

5. La connaissance exacte des propriétés du produit et du minéral soumis à l'opération, est pour cette raison la base sur laquelle reposent toutes les minéralurgies particulières, parce que la formation du produit dépend à la fois de ses propriétés et de celles du minérai *.

6. Le minérai reçoit son nom du résultat que l'on cherche: celui dont on retire de l'argent, se nomme minérai d'argent; celui qui produit du fer, minérai de fer; celui qui donne de l'alun, minérai d'alun, etc. Le minéralurgiste ne tient aucun compte, dans cette dénomination, des autres substances du minérai, parce qu'il ne veut que s'en débarrasser; c'est le but de son travail.

7. Il arrive cependant que l'on extrait plusieurs corps d'un même minérai: alors il tire son nom de celui qu'il

* On extrait par exemple le zinc, qui est susceptible de se volatiliser; de la calamine, qui est réfractaire; ou de la blende qui ne pourrait donner du zinc sans un grillage préalable. Note de l'auteur.

contient en plus grande quantité, ou plutôt, de celui qui offre le plus d'avantage commercial; et l'extraction des autres corps est regardée comme une chose accessoire. Quelquefois aussi, le minérai a un nom composé; c'est lorsque les quantités ou les valeurs pécuniaires des produits sont à peu près égales. Ainsi, on appelle minérai de plomb, celui qui contient de 40 à 70 pour cent de plomb, et dont le quintal de plomb contient seulement 2 onces d'argent; minérai d'argent celui qui contient de 16 à 30 pour cent de plomb, et dont le quintal de plomb tient plus de 2 onces d'argent; minérai de plomb et de cuivre, minérai de cuivre et minérai de plomb argentifère, ceux dont on retire deux de ces métaux.

8. On nomme *résidu*, les parties du minérai que l'on a séparées du produit par les opérations métallurgiques. En traitant des minérais à l'état solide, on appelle ce résidu *scories*; et *eaux-mères*, si l'on opère sur des liquides. La nature des scories dépend du corps que l'on traite et de celui que l'on veut obtenir; quelquefois il faut les soumettre à de nouveaux traitemens; quelquefois elles ne peuvent être d'aucun usage, ou bien elles sont employées d'une manière accidentelle et dans certaines circonstances. Telles sont les scories plus ou moins impures de plomb de cuivre et de fer.

9. Le corps qu'on veut obtenir, est rarement dégagé de toute espèce de matière étrangère, après le traitement de son minérai. Dans son état d'impureté, on l'appelle *demi-produit*, ou *produit intermédiaire*. La nature de ce demi-produit dépend de celle du corps que l'on traite, et de celle du corps que l'on cherche; le plus souvent même elle varie avec la méthode suivie dans l'opération. La fonte de fer, les mattes de cuivre, le cuivre noir en offrent des exemples.

10. Il est donc du ressort de chaque minéralurgie

spéciale d'enseigner les propriétés du corps qui sera traité, celles du corps que l'on veut obtenir, la manière d'opérer déterminée par ses propriétés, ou la méthode de réduire le minérai, enfin d'examiner les demi-produits et les déchets qui résultent de l'opération, pour arriver de cette manière à une réduction complète.

11. Les minérais soumis aux *procédés minéralurgiques* sont réduits par la voie humide, ou par la voie sèche. Dans le premier cas, on les traite comme des substances minérales liquides, à l'exception des opérations préparatoires, qui sont l'objet de chaque minéralurgie spéciale; alors la nature de chaque produit détermine le mode d'évaporation. Dans le deuxième cas, les minérais subissent, avant d'être réduits, une préparation, ou bien ils sont fondus sans opération préliminaire. On doit distinguer cette préparation, du travail mécanique, qui ne fait pas essentiellement partie de la minéralurgie.

12. Le traitement, par la voie sèche, ne peut s'exécuter qu'à l'aide du feu; le nom seul l'indique. La manière dont les minérais sont exposés à l'action de la chaleur est très-variable, elle dépend de leurs propriétés et de la nature du produit. Quelquefois ils sont entièrement fondus; quelquefois on se borne à opérer la séparation d'une partie du minérai, sans le mettre en fusion. Dans certains cas, le minérai est soumis immédiatement à l'action du feu; dans d'autres, il est garanti de son contact immédiat, et renfermé dans des vases particuliers. Mais quelle que soit cette disposition, nous supposerons toujours que l'effet du combustible est concentré, limité dans un espace particulier qu'on appelle fourneau.

On ne peut en général imaginer que deux méthodes d'employer le combustible : le minérai qu'on veut traiter est entouré du combustible, bien qu'il soit renfermé dans un vase; ou bien il est seulement exposé à la flamme. Dans

ce dernier cas, le fourneau est séparé en deux parties : l'une sert à faire brûler le combustible, c'est la *chauffe* avec sa grille; l'autre reçoit les minérais qui sont placés sur la sole*. Lorsque ces minérais sont renfermés dans des vases, la chauffe peut ne faire qu'un avec la sole; dans tous les cas, elles sont enveloppées l'une et l'autre par une même enceinte de maçonnerie, et couvertes par une seule voûte.

13. Les fourneaux tirent leur nom de la manière dont le combustible y est placé. Quand il est en contact avec le minérai, on les nomme *fourneaux à cuve;* et *bas fourneaux, feux, forges,* lorsqu'ils sont très-petits. Ceux dans lesquels la matière combustible exige un espace particulier s'appellent *fours à reverbère.* Si cet espace est supprimé, les autres dispositions restant les mêmes, ils se changent en fourneaux à vent ou fourneaux à creuset. Tels sont dans le premier cas, les hauts fourneaux pour le fer, le cuivre et le plomb, les fourneaux courbes, les affineries, les renardières. Dans le deuxième, les fours d'affinerie, les fours pour fondre le cuivre, le plomb, le zinc, le fer cru, les fours de liquation, etc. Dans le troisième enfin, les fourneaux pour le zinc, usités en Carinthie, ceux pour le bismuth, le soufre, le mercure, l'arsenic rouge et noir, et ceux dont on fait usage pour refondre le fer cru et l'acier dans des creusets.

14. En traitant les minérais par la voie sèche, on peut avoir pour but d'opérer, soit une combinaison, soit une décomposition : dans le premier cas, on les fond dans des creusets fermés exposés à la flamme ou chauffés au feu de charbon; c'est ainsi que l'on fabrique le bleu de cobalt, et le cuivre jaune avec le cuivre rouge et la calamine. Dans

* La sole est une aire inclinée ou horizontale, concave ou plane, ou composée de deux surfaces, selon la nature du minérai et l'usage que l'on veut faire de la masse fondue. Le T.

le deuxième, le produit peut être ou volatil ou fixe : s'il est volatil, on enferme le minérai dans des vases (des mouffles ou des cornues), on les échauffe et l'on recueille le corps dans d'autres vases liés aux premiers, comme pour le traitement du zinc, du mercure, de l'antimoine, de l'arsénic rouge et métallique, du soufre, etc. Ou bien on expose le minérai à l'action immédiate de la flamme pour recueillir ensuite les vapeurs dans des cheminées ou dans de vastes récipiens, comme pour l'extraction de l'arsenic blanc, et dans certains cas de celle du soufre et du mercure.

15. Si le corps que l'on veut obtenir est fixe, on jette le combustible avec le minérai, soit dans des fourneaux à cuve, soit dans des bas fourneaux ; ou bien on expose le minérai à l'action de la flamme d'un four à reverbère : s'il est de nature à se fondre, à se brûler facilement, on doit le garantir de l'effet immédiat de la flamme et de l'oxigène, l'enfermer dans des vases particuliers et le traiter au four à creuset.

16. Les fourneaux à cuve sont formés d'un espace plus ou moins élevé, entouré d'un mur. Le vide intérieur peut être rond ou angulaire ; on le remplit de minérai et de combustible, la sole termine sa partie inférieure. Lorsqu'on y ménage un vide particulier pour recevoir la masse fluide qui tombe par filtration au travers du combustible, on donne à ce vide le nom de *creuset*. Dans certains fourneaux à cuve, la face antérieure s'appelle le *côté du travail*, et la partie inférieure de cette face est la *poitrine du fourneau*.

17. Lorsque ces foyers sont construits de manière que la sole ou la pierre de fond se trouve en totalité au-dessous de la cuve, et que le mur de devant est sans ouverture, on dit que le travail se fait à *poitrine close* comme pour les *flussofen* (fourneaux de fusion), les *stuckofen* (fourneaux à la masse), les fourneaux à manche qui ser-

vent à refondre le fer cru; mais quand une partie du creuset est au-dessous de la cuve et l'autre au-dessous de la poitrine, on appelle ce genre de travail le *fondage à poitrine ouverte*, ou le *fondage sur le creuset.* C'est ainsi que sont construits les hauts fourneaux pour le traitement du fer. Enfin, si la sole est au-dessous de la cuve et si la masse liquide qui s'y rassemble peut s'écouler par une ouverture, on le nomme le *fondage par l'œil:* c'est ainsi que l'on construit les fourneaux pour fondre l'étain, le cuivre, etc. Lorsqu'un semblable foyer a deux ouvertures, il est appelé *fourneau à lunettes.* Comme ces différentes manières de travailler ne dépendent que de la construction de la partie inférieure de la cuve, on peut modifier facilement toute espèce de fourneau, pour lui appliquer tel ou tel autre genre de fondage.

18. Il résulte de ce qui précède, qu'il faut adapter avec discernement la forme du fourneau à la nature des minérais et de leurs produits. Les premières considérations déterminantes sont relatives à la volatilité ou à la fixité plus ou moins grande du résultat que l'on a en vue d'obtenir; car on ne peut traiter dans les hauts fourneaux, les corps volatils à la chaleur ordinaire de la fusion. Mais faut-il traiter dans ces foyers ou bien dans des fours à reverbère, les minérais qui, à la chaleur ordinaire de la fusion, donnent un produit fixe? C'est ce qu'on ne peut décider que par leur plus ou moins grande facilité à se réduire; car on ne peut fondre dans les fours à reverbère, que les minérais qui n'exigent pas un très-haut degré de chaleur pour abandonner les scories, et donner le produit qui doit résulter de leur fusion. (8).

Le travail qui ne demande pas une fusion complète des minérais, ne peut avoir lieu dans les fourneaux à cuve; il est réservé pour les fours à reverbère. De la nature du produit et des minérais dépend donc immédiatement le choix du foyer que l'on doit employer.

19 La connaissance approfondie des combustibles est un objet des plus importans pour le métallurgiste. On les choisit en général, d'après l'espèce de fourneau dont on veut se servir: les fours à reverbères exigent un combustible qui brûle avec une flamme vive, tandis que les fourneaux à cuve et les bas fourneaux demandent un combustible sans flamme. On emploie du bois, de la houille, de la tourbe pour les premiers, et pour les autres, on fait usage des charbons de ces matières. Il en résulte que l'art de convertir ces corps en charbon doit être connu du métallurgiste; il doit savoir apprécier les propriétés et les actions diverses de ces combustibles, soit dans leur état naturel, soit après leur carbonisation.

20. On sait que la combustion ne peut avoir lieu sans la présence de l'air atmosphérique. Dans les fours à reverbère, elle est activée par un courant d'air qui s'établit sous la grille du foyer. La nature du combustible détermine les dimensions de la chauffe, la grandeur et la position de la grille, ainsi que l'ouverture qui donne une issue à la flamme. Les fourneaux à cuve et les foyers de forge reçoivent l'air nécessaire par un canal particulier (la tuyère).

Dans les temps très-reculés, on ne connaissait pas de procédés pour recueillir l'air, pour le comprimer, le diriger et le porter dans un espace donné; ou du moins, si l'on en connaissait, ils étaient extrêmement imparfaits. Alors on dilatait l'air atmosphérique dans la cuve en allumant le combustible; ce qui devait exciter un courant du dehors en dedans; par cette méthode très-simple et moyennant plusieurs ouvertures pratiquées dans le mur, on attirait le fluide qui devait servir à la combustion. Il s'ensuivait qu'on était plus dépendant de l'état variable de l'atmosphère, de la hauteur du site des fourneaux et de mille autres circonstances, sans pouvoir produire une aussi forte chaleur qu'à l'aide des machines soufflantes actuelle-

ment en usage, qui sont absolument nécessaires aux fourneaux à cuve et aux feux de forge. De leur construction plus ou moins bonne dépend, en grande partie, le succès des travaux métallurgiques.

Le mécanisme qui sert de base à toutes les machines soufflantes, à l'exception des trompes dont il sera question plus loin, consiste à faire approcher une surface mobile d'une autre qui est fixe; l'air contenu entre elles se trouve alors comprimé et lancé dans les foyers. Le mouvement rétrograde de la surface mobile fait entrer de nouveau l'air extérieur entre les deux surfaces par des ouvertures pratiquées à cet effet, et qu'on appelle *soupapes*. Les parties latérales qui réunissent les deux surfaces, peuvent être, ou flexibles, comme dans les soufflets en cuir, ou raides: dans ce dernier cas, elles sont adaptées, soit au plateau mobile, soit au plateau fixe. C'est ainsi que se construisent les soufflets ordinaires en bois, les soufflets à piston carré, les soufflets à piston rond et les soufflets cylindriques en fer; la forme de ces diverses machines est pyramidale, parallélipipédique ou cylindrique.

21. Le mouvement des soufflets ne peut avoir lieu sans un moteur quelconque. Le premier et le plus naturel sans doute, était la force musculaire de l'homme; lorsque la grandeur des établissemens rendit la force humaine insuffisante, on employa celle des animaux. Enfin, on fit usage de l'eau comme force motrice, et plus récemment on eut l'heureuse idée d'employer la force élastique de la vapeur dans les contrées où l'on manquait de cours d'eau et qui d'ailleurs offraient les ressources nécessaires pour des établissemens métallurgiques.

22. D'après ce qui précède, on sera convaincu que la minéralurgie est un art très-compliqué; que, pour remplir son but, elle doit employer les lumières de plusieurs

sciences, telles que la minéralogie, la géognosie, l'art de l'exploitation des mines, l'art forestier, les mathématiques, l'architecture soit ordinaire soit hydraulique, la mécanique, la technologie, pour la construction des machines, usines et canaux, et même la statistique et la science de l'administration, pour juger des besoins d'une province et des chances du commerce. Toutes ces sciences rentrent tellement dans les différentes branches de la minéralurgie, qu'il devient difficile de déterminer ce qui appartient à ces dernières, considérées comme des parties de la chimie appliquée aux arts; et qu'il est encore plus difficile de distinguer ce qui fait l'objet d'un manuel de minéralurgie, de ce qui appartient spécialement à d'autres sciences. Dans notre manière de voir, on doit regarder leurs principes comme connus et démontrés: il suffit donc de les citer et d'en indiquer l'application.

23. Lorsque la métallurgie a enseigné les moyens d'obtenir en grand, avec le plus d'avantage possible, un corps contenu dans un minérai, elle a rempli son but, et ne devrait plus s'en occuper. Le travail subséquent et l'emploi des produits rentrent dans la technologie. Cependant, il existe certains produits métallurgiques dont le traitement ultérieur fait encore essentiellement partie de la métallurgie; c'est ce qui a lieu pour la fabrication du minium, du blanc de céruse, du vert de gris, du fer forgé au moyen du fer cru, etc.

24. Il a déjà été question (4) des diverses branches de la minéralurgie en général: elles ont toutes un but semblable, mais elles diffèrent dans les moyens, à cause des variations qui se rencontrent dans les propriétés des produits et des minérais. — Nous allons nous occuper, à présent, de celle qui traite exclusivement de la préparation du fer.

25. Pour répondre à l'objection d'avoir consacré un

enseignemennt spécial à la métallurgie du fer, au lieu de la présenter conjointement avec l'art de l'extraction de l'or, de l'argent, du soufre, du salpêtre, etc., il suffira de faire observer que nulle autre branche de la métallurgie n'est d'une si vaste étendue, ni d'une si haute importance pour les gouvernemens et pour les peuples; que nulle autre n'offre autant de difficultés, et que, malgré l'intérêt qu'elle doit nous inspirer, c'est celle qui a été le moins cultivée et le moins approfondie.

Elle est importante, parce que, sans le fer, il n'est aucune garantie pour la prospérité et l'indépendance d'une nation: elle est étendue, parce que le fer, par suite de sa combinaison, jusqu'à présent si problématique avec le carbone, peut se présenter et s'obtenir dans trois états divers; et que, par un privilège qui n'appartient qu'à lui seul, on peut l'utiliser dans chaque état comme un métal particulier: elle est étendue, parce qu'il se trouve dans le cas d'exception relaté au paragraphe 23, et parce qu'avant d'être répandu dans le commerce pour ses usages si variés, il doit subir encore diverses préparations: enfin elle est difficile, parce que la connaissance des propriétés du fer et de ses minérais est encore imparfaite, et qu'il est d'un prix si bas, que les travaux relatifs à sa préparation doivent avoir le plus grand développement pour assurer des bénéfices au fabricant.

26. Ce qui n'est qu'indiqué ici, deviendra plus clair, lorsque nous considérerons les propriétés particulières du fer. Nous devons observer seulement en général, que les trois états dans lesquels on peut l'obtenir dépendent du traitement de ses minérais, et donnent lieu aux trois principales divisions de la sidérurgie; car il se présente,

1° Comme un métal qui ne peut se forger ni se souder, et qui devient parfaitement liquide à une chaleur convenable; dans ce cas, il s'appelle *fer cru* ou *fonte*;

2° Comme un métal ductile, soudable, ne pouvant se fondre qu'à une chaleur extrêmement élevée; on l'appelle alors *fer forgé*, *fer en barres*, *fer ductile* et *fer pur*;

3° Comme un métal dur, ductile, moins soudable que le précédent, et d'autant plus fusible que sa faculté de pouvoir souder diminue; c'est l'*acier*.

Nos recherches subséquentes feront voir que tous les minérais de fer sont susceptibles de donner de la fonte, du fer ductile et de l'acier, lorsqu'ils sont traités convenablement. Mais un objet essentiel de la sidérurgie, est de convertir un de ces produits en un des deux autres, soit pour des raisons d'économie, soit pour obtenir un résultat plus perfectionné.

27. Ce qui contribue particulièrement à étendre le domaine de la sudérurgie, c'est le travail accessoire que l'on fait subir à ses produits avant de les livrer au commerce. La fonte doit être mise sous diverses formes appropriées aux usages de la société, à moins qu'on ne veuille la convertir en fer forgé; ce dernier est étiré en barres, en tôle, en fil d'archal, etc. L'acier se vend rarement à l'état brut, il a besoin d'être raffiné. Ainsi, la métallurgie du fer ne se borne pas, comme la métallurgie en général, à fournir la matière qu'on veut obtenir, elle doit encore en modifier la forme et la qualité.

28. Le prix médiocre du fer, laisserait peu d'avantage aux propriétaires d'usines, si la fabrication ne recevait pas une très-grande étendue. Mais, une grande production suppose de vastes établissemens et une forte dépense annuelle, occasionnée par les matières premières; il s'ensuit que l'achat des combustibles et la construction des usines exigent la plus grande circonspection. D'ailleurs ce qui a été dit (22) des diverses connaissances relatives à la minéralurgie en général, s'applique plus particulièrement à la métallurgie du fer; 1° parce que les appa-

reils dont elle a besoin pour convertir ses produits en objets de commerce, sont plus compliqués que ceux qui servent à la préparation des autres métaux; 2° parce que les établissemens des maîtres de forges, pour pouvoir prospérer, doivent être d'une grandeur considérable, je dirai même colossale.

29. L'immense consommation des combustibles et des minérais, qu'entraînent les travaux métallurgiques du fer, exige de la part du sidérurgiste praticien, une connaissance parfaite de ces matières premières, ainsi que la plus stricte économie dans leur emploi. Par ses lumières, il doit être plus indépendant de ses maîtres mineurs, de ses agens forestiers, de son architecte que les autres métallurgistes. Il doit leur servir de modèle pour l'économie, pour la construction et la disposition des bâtimens et des machines. Nous devons en conclure que la sidérurgie demande une étude plus approfondie des matières premières, de la technologie et de l'architecture, que l'art de réduire les autres minérais, et qu'il faut la considérer, à juste titre, comme la base de toute la métallurgie.

30. Pour fondre les minérais de fer, il faut les exposer à une haute température; la difficulté de la produire a retardé le perfectionnement de la sidérurgie et la connaissance du fer à l'état liquide. On ne peut guères les traiter dans les fours à reverbère, et la découverte des fourneaux à cuve est due, probablement, à une circonstance fortuite. Si l'on eût pu les réduire dans d'autres foyers, la fonte eût été connue et employée mille ans plus tôt. La difficulté de traiter les minérais de fer, les modifications de ce métal, dans ses trois états différens, de fonte, de fer forgé et d'acier, nous imposent l'obligation de l'étudier avec plus de soin, d'approfondir ses propriétés, sa manière d'être à l'égard des autres corps, la nature de ses différens minérais, la construction des machines et des appareils indispensables à sa préparation.

31. Sans trop pénétrer dans le domaine des sciences dont la minéralurgie et principalement l'art des forges empruntent les principes et les lumières, on peut borner l'enseignement de la sidérurgie à ce qui suit : Exposer d'abord les propriétés physiques et chimiques du fer dans toute leur étendue, puis traiter des connaissances qui doivent précéder son traitement et qui sont relatives aux minérais, aux combustibles, aux machines employées pour porter l'air dans les foyers et à la construction des fourneaux à cuve, où l'on réduit les minérais. Ce n'est qu'ensuite qu'on parlera de leur traitement, de la conduite des fourneaux, de la fonte, de son usage et des moyens employés pour la mouler en objets de commerce. Après quoi l'on parlera du fer ductile obtenu de la fonte, ou de l'affinage immédiat des minérais. Enfin on donnera une description succincte des machines et des procédés employés pour dégrossir le fer, pour le convertir en petits échantillons, en fil d'archal, en tôle et en fer-blanc, et l'on terminera par la fabrication de l'acier.

32. C'est depuis peu que la sidérurgie embrasse dans son développement toute l'étendue que nous venons de faire entrevoir ; elle est moins cultivée et plus éloignée de sa perfection que toutes les autres branches de la métallurgie, malgré l'abondance avec laquelle le fer est répandu sur toute la surface du globe, et malgré son utilité qui s'étend à tous les arts, à tous les besoins, je dirai même à l'existence entière des nations.

Il est probable que la difficulté de traiter les minérais de fer, a mis plus d'obstacles encore à son étude que la singularité de sa manière d'être. Ajoutons que ce n'est que depuis peu, et seulement par un petit nombre de peuples, que le fer a été apprécié à sa véritable valeur. La plupart d'entre eux dirigèrent leurs recherches sur les mines d'or, d'argent et de cuivre, et négligèrent l'ex-

ploitation des mines de fer, précisément parce que la nature nous les offre avec la plus grande libéralité; aussi vit-on des peuples anciens, qui depuis long-temps devaient connaître le fer, employer le cuivre pour leurs instrumens, malgré son infériorité dont ils étaient convaincus: ils savaient apprécier les qualités du fer, mais ils ignoraient l'art de le travailler.

Il est difficile de trouver dans l'histoire les premières traces de son emploi et les progrès de sa fabrication, parce qu'il n'a jamais excité l'attention des princes, et que les méthodes à suivre, pour obtenir ce vil métal, étaient exclusivement abandonnées aux soins de la classe ouvrière. Les métallurgistes anciens ne donnent presqu'aucun renseignement sur la manière de traiter les minérais de fer; on est forcé de croire qu'ils regardèrent, avec une sorte de mépris, ce métal si commun, et que la manière de le travailler ne leur parut pas digne d'être transmise à la postérité.

33. D'après les témoignages réunis de tous les auteurs de l'antiquité, il paraît que l'usage du cuivre a précédé celui du fer; on en saisit facilement la raison: les minérais de fer qui possèdent l'aspect métallique, comme les minérais dont on retire l'or, l'argent, le cuivre, le plomb, n'étant fusibles qu'à un haut degré de chaleur, ne pouvaient être utilisés dans l'état d'imperfection où se trouvaient alors les foyers de fusion; ceux qui sont, au contraire, facilement réductibles, manquant de l'aspect métallique, échappaient à l'attention, à moins que le hasard n'en révélât l'utilité.

Cependant, on trouve quelques traces de l'emploi du fer, dans les temps les plus reculés; son usage remonte même au-delà de l'histoire: les traditions des anciens peuples en rejettent la découverte dans l'obscurité des premiers siècles. Les hébreux en attribuent l'honneur à

Tubalcain qui doit avoir vécu avant le déluge, et 3000 ans avant la naissance de J. C. Chez les grecs, c'était Vulcain qui enseignait l'art de travailler le fer avant le déluge de Deucalion. Sans vouloir examiner ici quel degré de foi on doit ajouter à ces mythes, et sans prétendre qu'elles se rapportent au même événement, il en résulterait, cependant, que les époques certaines de l'histoire la plus ancienne, sont postérieures à la connaissance du fer; qu'on y attachait le plus grand prix dans ces premiers temps, puisqu'on croyait même que la divinité n'avait pas jugé indigne d'elle de s'occuper du travail de ce métal, et les idées qu'on avait des forges de Vulcain et des Cyclopes, peignent assez les obstacles que l'on rencontrait à le mettre en œuvre.

Si donc l'histoire ne nous fournit pas la preuve que les anciens se servaient du fer, pour leurs armes et leurs instrumens, ce n'est point qu'ils aient ignoré l'utilité de ce métal, c'est parce qu'ils avaient des notions trop imparfaites sur le traitement de ses minérais. On a vu, même dans le moyen-âge, des peuples employer le cuivre pour leurs armes, et l'on ne peut cependant établir qu'ils n'eussent aucune connaissance du fer; s'ils ne l'employèrent pas, c'est qu'ils ne purent vaincre les difficultés de sa préparation.

34. Les premières traces de son usage doivent être cherchées chez les nations orientales de l'Asie. Le commerce étendu des Phéniciens fait présumer que le fer n'a pu leur rester inconnu, d'autant moins que, 2000 avant J. C., l'Egypte florissait déjà, et qu'on ne peut refuser à cette nation et à cette époque la connaissance de ce métal. Si l'on considère ensuite que les Egyptiens durent leur civilisation à un peuple situé plus à l'est, on en doit conclure que la découverte du fer se perd dans l'antiquité la plus reculée.

Quinze cents ans avant J. C., Moyse parut comme historien, et dans ses livres, comme dans d'autres passages de l'ancien testament, on trouve des preuves irrécusables que le fer et l'acier étaient connus des Egyptiens et des Hébreux. Athènes et Thèbes furent fondées, à la même époque, par des colonies égyptiennes; cependant les Grecs semblèrent ignorer long-temps encore l'art de préparer le fer, quoiqu'ils en connussent l'usage. Au siége de Troye, 1200 ans avant J. C., ils se servirent encore d'armes en cuivre; alors le fer était extrêmement estimé chez eux, comme on le voit par un passage d'Homère, Iliade XXIII, v. 826. Il résulte du premier livre des Rois XXIII, 14, 16, XXX, 2, 7, qu'on employa beaucoup de fer à la construction du temple de Salomon, 830 ans avant J. C. A Sparte, 700 ans avant J. C., on s'est même servi du fer comme monnaie, l'or et l'argent ayant été proscrits par Lycurgue. Depuis cette époque, l'usage du fer fut répandu dans toute la Grèce.

D'après le témoignage d'Hérodote, Glaucus de Chio apprit à souder le fer, 430 ans avant la naissance de J. C.; même avant ce temps, les Grecs avaient porté l'art de le travailler, en Italie, en Espagne et en Afrique. Il est probable que les mines de l'Ile d'Elbe étaient ouvertes 700 ans avant J. C., quoique les Romains n'aient connu ce métal que quelques siècles après. Ils l'employèrent ensuite à tous leurs besoins, à tel point que, 300 ans avant J. C., ils s'en servirent pour l'exploitation des mines. Le fer de la Norique, celui de la Styrie, ou avec plus de probabilité, celui du cercle d'Autriche et du cercle de Bavière, était très-estimé chez eux: déjà 300 ans avant J. C. il fut célébré par leurs poètes.

Il devient plus difficile de savoir par quelle voie l'usage du fer a pénétré dans le nord. Le climat de ces contrées inhospitalières empêchait l'homme d'y séjour-

ner ; elles n'étaient visitées que par les peuples nomades. Il paraît que celles des tribus dont la civilisation était le plus avancée, portèrent l'art des forges dans la Russie, la Suède et le nord de l'Allemagne. On prétend avoir découvert dans plusieurs endroits, des vestiges très-anciens de l'emploi du fer. Les connaissances relatives à son traitement ont été perdues dans certains pays ; elles furent retrouvées ensuite, lorsque les peuples commencèrent à se civiliser et qu'ils adoptèrent les mœurs de leurs voisins qui avaient conservé de leurs aïeux l'art de travailler le fer. Chez les *Venden* nous n'en voyons aucune trace, quoique leurs voisins fissent usage d'armes et d'agrès en fer. Les Bretons savaient le travailler plusieurs siècles avant la naissance de J. C.

35. On ne peut indiquer avec exactitude les procédés des anciens ; ils devaient être extrêmement simples et très-imparfaits, d'après les renseignemens que nous avons recueillis des historiens de l'antiquité.

Déjà 1600 ans avant J. C., on s'aperçut en Egypte, que certains fers se durcissaient par la trempe, et que d'autres restaient doux après cette opération. On ne tarda pas à reconnaître que les premiers étaient plus avantageux que les autres pour beaucoup d'usages. L'acier norique était très-rénommé chez les Grecs et surtout chez les Romains. Pline est disposé à attribuer une partie de la bonne qualité de cet acier au minérai, mais il pense que c'est à l'eau principalement doit qu'il sa nature aciéreuse. On ne peut s'étonner de cette opinon, car ce n'est que dans ces derniers temps que nous avons obtenu une théorie satisfaisante sur la différence du fer et de l'acier. Dans le dix-septième siècle, on croyait encore que l'acier était un fer purifié de scories, par des refontes multipliées et par un fréquent arrosage fait avec de l'eau, lorsqu'on le forgeait.

Nous pouvons donc admettre que les anciens ne connaissaient pas de procédés certains pour obtenir ou l'acier ou le fer, et qu'ils les fabriquaient l'un et l'autre de la même manière: quand leur but était manqué, ils en accusaient l'eau ou les minérais. On s'abandonnait au hazard, même dans les lieux où les minérais favorisaient la formation de l'acier. Les produits étaient classés d'après l'aspect de leur cassure ou d'après d'autres propriétés; mais nous pouvons affirmer qu'on ne connaissait aucun mode particulier d'opérer pour se procurer l'un ou l'autre métal.

Lorsqu'à la fin du quinzième siècle, on connut les fourneaux à cuve pour fondre les minérais, on s'aperçut bientôt que l'on pouvait fabriquer avec ces foyers, joints aux bas fourneaux, des aciers d'une plus grande pureté, que ceux qu'on obtenait par le traitement immédiat des minérais, selon les méthodes dites catalanes; et l'on profita de ce fait d'expérience pour se procurer de bons aciers. Mais comme on faisait usage du même procédé pour obtenir du fer, on peut admettre que, même à cette époque, il n'existait aucune manière certaine de fabriquer l'acier. On les produisait l'un et l'autre par les mêmes méthodes, on les obtenait en même temps, comme c'est l'usage encore dans les pays où la métallurgie du fer a fait peu de progrès.

36. Les procédés suivis par quelques peuples encore dans l'enfance de la civilisation, nous donneront, par analogie, une idée de ceux qu'on a dû pratiquer anciennement. Pour compléter l'histoire du fer, nous allons citer quelques exemples à ce sujet: Gemelin (*Voyage en Sibérie*), nous décrit la méthode des Tartares, ainsi qu'il suit: Leur four est placé à l'endroit où ils font ordinairement la cuisine, il consiste en un trou d'un demi-pied cube environ, surmonté d'une cheminée conique faite avec de la

terre glaise; le côté antérieur est percé d'une ouverture que l'on ferme pendant la fusion; il y en a une autre à l'une des faces latérales, on y adapte deux soufflets. Un homme est chargé de les faire mouvoir, un second jette le minérai et le charbon alternativement dans le foyer; le minérai est pulvérisé, on n'en charge qu'une très-petite quantité à la fois, autant qu'il en peut tenir sur la pointe d'un couteau. Aussitôt que les charbons sont un peu descendus, on les remplace et l'on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait chargé en totalité 3 livres de minérai; car ils ne peuvent en fondre davantage. Après avoir soufflé encore quelques instans, ils enlèvent avec une tenaille la pierre fermant le trou de devant, cherchent le culot parmi les débris de la combustion, et le nettoient avec un morceau de bois, pour en détacher la charbonaille et les scories. On dit que ce fer, qui paraît assez impur, est cependant de bonne qualité.

Brown décrit un procédé semblable, pratiqué sur la côte orientale de l'Afrique. Les nègres, qui sont l'objet du plus profond mépris pour les mahométans, font métier de séparer le fer des substances terreuses; leur produit est d'une mauvaise qualité. Pour alimenter la combustion, ils se servent d'une outre qu'ils compriment et qu'ils gonflent alternativement, l'air est dirigé par un tuyau de bois dans un petit trou contenant le charbon et le minérai*.

D'après Mungo-Park, il paraîtrait au contraire que

* Voyez sur le fer forgé du Sénégal et les minérais dont on le retire, une notice insérée dans les Annales des Mines, tome 5, page 129. Il paraîtrait que ces minérais qui ne contiennent que 33 pour cent de péroxides, sont affinés immédiatement pour fer ductile dans des foyers de forges. Les méthodes suivies par les nègres du Fiouta Diallon, doivent donc avoir quelque analogie avec celles qui étaient pratiquées, et que l'on pratique encore aujourd'hui en Silésie; puisqu'on y traite par l'affinage immédiat dans des foyers de forges, des minérais qui ne rendent dans les hauts-fourneaux, que 25 pour cent de fonte. Le T.

les nègres de cette partie de l'Afrique ne fabriquent point le fer, puisqu'ils l'achètent à bon compte des marchands européens; mais, dans l'intérieur, sur le Gambia, ils l'obtiennent en grande quantité de ses minérais. Le fourneau des habitans de Camalia, est un cylindre de dix pieds de hauteur et de trois pieds de diamètre, cerclé en deux endroits pour qu'il puisse résister à la force expansive de la chaleur. A la partie inférieure, un peu au-dessus du sol, sont pratiquées dans la circonférence sept ouvertures; on y place des tuyaux d'argile que l'on ferme à volonté, de manière que l'air ne peut entrer que par ceux de ces conduits qui servent au fondeur à diriger le feu. Avant de commencer l'opération, on pose sur la sole du fourneau, un fagot de bois sec; on le charge ensuite en charbons et en minérais disposés par couches, de manière cependant, que la première qui est en charbon soit très-épaisse; on introduit le feu par un des tuyaux, et l'on fait usage de soufflets au commencement pour embraser toute la masse: ces soufflets sont confectionnés en peau de chèvre.

La combustion est d'abord très-lente; on reste plusieurs heures avant d'apercevoir la flamme du fourneau, mais ensuite elle devient très-active, les charbons consumés sont remplacés de temps à autre. Le feu diminue déjà à la seconde journée; on débouche alors quelques tuyaux pour faire affluer l'air dans l'intérieur du foyer; mais, d'après la relation du voyageur, la chaleur est toujours très-forte, une flamme bleuâtre dépasse de quelques pieds le bord supérieur du fourneau: on enlève au troisième jour tous les conduits d'air, dont plusieurs sont quelquefois vitrifiés à l'une de leurs extrémités.

Pour retirer le métal, on fait une ouverture à la base du fourneau après qu'il est entièrement refroidi. Le fer se trouve rassemblé en une grande masse irrégulière; il

est sonore et grénu à la cassure, comme l'acier; on prétend qu'une grande partie ne peut servir, mais que le reste suffit pour indemniser du travail et des dépenses. On fait des instrumens avec ce fer aciéreux; il est dur, cassant, et doit être chauffé, à plusieurs reprises, dans des feux de forge, avant d'être mis en œuvre.

37. Ces méthodes imparfaites doivent avoir quelque ressemblance avec celles qui ont été suivies dans l'antiquité; elles nous indiquent sur-tout que les difficultés principales consistaient dans le haut degré de chaleur qui est nécessaire pour fondre les minérais de fer. Nous ignorons le mode d'opération pratiqué par les Egyptiens; il paraît résulter des écrits de Moyse, qu'ils employaient déjà des fourneaux dont la chaleur était très-forte; on ne peut savoir si ces foyers étaient conduits à la manière de ceux de Camalia, ou s'ils recevaient l'air au moyen des machines soufflantes. Les Egyptiens devaient connaître l'usage des soufflets, car il en est déjà question chez les Grecs du temps d'Homère.

L'exploitation des mines prospérait dans les îles de la Méditerranée, principalement dans les îles de Crête, d'Eubée de Thase, avant que cet art fût transporté dans la Grèce continentale; parce que les Phéniciens avaient des relations plus directes avec les habitans de ces îles. C'est aussi pour cette raison, que les Grecs adoptèrent si tard l'usage du fer, quoique celui d'Eubée fût recherché, avec tant d'avidité, par les autres peuples, que ses mines étaient déjà épuisées du temps de Strabon, cinquante ans avant J. C.

Les procédés de fabrication suivis par le Grecs ne nous sont point parvenus. D'après des renseignemens incertains, il paraîtrait que, pour fondre les minérais, il les chargeaient dans les fourneaux avec les charbons et par couches alternatives, et qu'ils liquéfiaient le fer une ou plusieurs fois pour en améliorer la qualité.

On ignore même les méthodes qu'employèrent les Romains pour réduire les minérais de fer. Il résulterait de plusieurs passages de Pline, qu'ils se servaient de fourneaux activés tantôt par des soufflets, tantôt par un simple tirage. Ces fourneaux avaient probablement quelque ressemblance avec les *stuckofen* des temps modernes; mais ils devaient être plus défectueux encore. Ce fut donc alors une amélioration que la découverte des méthodes dites *catalanes*, à l'aide desquelles on traite les minérais dans des bas fourneaux, pour en obtenir le fer ductile par un affinage immédiat. Ces méthodes sont pratiquées encore dans plusieurs pays de l'Europe; leur invention doit remonter au temps florissant de l'empire romain, mais nous ne trouvons nulle part la trace de leur origine.

38. Les émigrations des peuples du nord, si fécondes en résultats divers, eurent d'abord une influence funeste sur la civilisation européenne: c'est par elles que périrent au premier siècle du moyen-âge, toutes les connaissances sur la métallurgie; mais si l'on considère que les procédés suivis par les Romains, au temps le plus florissant de leur empire, nous sont restés inconnus, on ne peut s'étonner du silence des siècles barbares sur le travail du fer, quoiqu'il prêtât son secours aux guerres interminables qui ont ensanglanté cette époque.

Au commencement du huitième siècle, en 712, on ouvrit les mines de Styrie et de l'Erzgebirg. Dans le neuvième, on vit l'art des forges s'étendre vers le nord, dans la Bohème, probablement aussi en Saxe et dans le Harz. Les usines de l'Espagne et celles des Pays-Bas prospéraient dans le dixième siècle, mais on n'aperçoit encore à cette époque aucun perfectionnement. Il paraît que l'art est resté stationnaire pendant l'espace de mille années entières. L'affinage immédiat des minérais fut généralement pratiqué, même après que les *suckofen* furent connus.

Il n'en est pas de même de la mise en œuvre du fer; elle fut poussée presqu'à la perfection dans le douzième siècle, par les habitans des Pays-Bas. Les travaux ingénieux qu'ils exécutèrent en acier et en fer leur valurent une grande réputation.

On ignore les lieux et l'époque qui donnèrent naissance aux *stuckofen*. Il est vraisemblable qu'ils furent inventés en Styrie, que de là, ils se répandirent d'abord dans l'Alsace, la Bourgogne, et plus tard ensuite dans la Saxe et la Bohême, où ils furent employés avec quelques modifications. Ce fut dans les Pays-Bas que leur hauteur s'accrut; car c'est sur les bords du Rhin, que nous trouvons les premières traces des *flussofen;* il est probable que de là ils passèrent en Angleterre. Nous n'avons point de renseignemens écrits à ce sujet, il n'existe de cette époque aucun ouvrage sur la métallurgie, et les historiens ne daignèrent pas accorder dans leurs livres une place au travail du fer.

D'après des témoignages, dont la véracité ne peut être révoquée en doute, on fondait en Alsace des poêles dans l'année 1490 : on devait donc y connaître les fourneaux de fusion, quoiqu'il n'en soit point question dans l'excellent ouvrage d'Agricola, publié en 1546; cet auteur ne parle que de la réduction des minérais dans les *stuckofen* et les bas fourneaux. La métallurgie du fer se trouvait alors dans l'enfance. Agricola la traitait d'ailleurs superficiellement: il est probable que les *flussofen* lui demeurèrent inconnus; d'autant plus, que l'usage de ces foyers, très-rare d'ailleurs, ne se répandit qu'avec lenteur dans les différens pays de l'Europe. En Saxe, il ne remonte pas au-delà de 1550.

On ne peut déterminer non plus l'époque et la contrée où les *flussofen* furent d'abord changés en hauts fourneaux. En Angleterre, on coula déjà beaucoup de bouches à feu en fonte de fer dans le seizième siècle (en 1547):

il est donc certain que l'on y connaissait alors ces fourneaux; mais il paraîtrait que c'est encore aux Pays-Bas que l'on fut redevable de cette invention, qui s'introduisit en Suède vers la fin du même siècle. Ce n'est qu'au commencement du dix-septième, que les hauts fourneaux furent employés dans la partie orientale de l'Allemagne, en Saxe, dans le Harz, le Brandebourg, et d'après des renseignemens positifs, le premier ne fut établi en Silésie qu'en 1721.

L'emploi du coke dans les hauts fourneaux, date de 1720. Sturtevant prit, en 1612, une patente pour l'emploi du coke. De semblables patentes furent données à Ravenson, en 1613, et à Dubley, en 1619; mais il s'écoula encore près d'un siècle avant que la fusion des minérais de fer par le coke, dans les hauts fourneaux, fût couronnée de succès. Cette découverte précieuse passa d'Angleterre en Silésie, dans l'année 1795, par les soins de M. le comte de Reden, ministre d'état du roi de Prusse.

Ce fut en 1784, qu'en Angleterre, on fit les premiers essais d'affinage dans les fours à reverbères et au moyen de la houille; ce procédé devint depuis une source de prospérité pour ce royaume.

Nous ne pouvons fixer avec précision, l'époque où l'on a commencé à fabriquer l'acier de cémentation; il paraît que cette découverte eut lieu vers la fin du dix-septième siècle, et qu'elle est due à la Belgique ou à la France.

Il résulte de cet aperçu rapide, que les événemens les plus intéressans de l'histoire du fer, ceux qui devraient faire époque, ne se trouvent pas consignés dans les annales des peuples, et qu'on ne peut connaître avec exactitude, ni le temps ni le pays où ils prirent naissance.

39. Ce n'est que dans le dix-huitième siècle, que la sidérurgie reçut une forme scientifique. Agricola, le père de la métallurgie, lui consacre à peine quelques lignes,

qui, malgré leur insuffisance, resteront comme un document historique. Mais enfin, au commencement du dernier siècle, vinrent Réaumur et Swedenborg, qui, dans leurs ouvrages immortels, révélèrent toute l'importance et l'étendue de l'art des forges. Bergmann et Rinmann continuèrent dans l'autre moitié du même siècle, les recherches de leurs illustres prédécesseurs; ils répandirent les premiers rayons de lumière sur la nature du fer et sur les méthodes que l'on emploie pour l'obtenir en grand. D'autres efforts heureux ont contribué à augmenter ces connaissances. Parmi les hommes recommandables qui ont écrit sur cette matière, nous placerons à juste titre, les noms *des Jars, des Gerhard, des Ducoudray, des Hermann, des de Peyrouse, des Quanz, des Garney, des de Marcher*, etc.

Nous allons donner ici une notice des ouvrages que l'on peut consulter, nous réservant de citer, pour chaque objet spécial, les écrits qui s'y rapportent.

D. J. F. Reitmeyer, Geschichte des Bergbaus und Hüttenvesens bei den alten Vœlkern. Gœttingen. 1785.

L. F. Launay, Minéralogie der Alten, oder Darstellung der Erzeugnisse des Mineralreichs, wie sie den Alten bekannt waren. Prag. 1802.

Gmelin, Beitrœge zur Geschichte des deutschen Bergbaues. 1783.

Gatterer, Welgeschichte in ihrem ganzen Umfange, Goettingen. 1785. Première partie, depuis Adam jusqu'à Cyrus.

Georgei Agricolæ, de re metallicâ, libri XII, Basileæ. 1546. Il a paru plusieurs éditions de cet ouvrage en 1556, 1558, 1561, 1657, etc.

Réaumur, l'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi fins que de fer forgé. Paris. 1722.

Emanuelis Swedenborgu, Regnum Subterraneum, sive

mìnerale de ferro, deque modis liquationum ferri per Europam passim in usum receptis, deque conversione ferri crudi in chalybem, de vená ferri et probatione ejus: pariter de chimicis præparatis et cum ferro et vitriolo ejus factis experimentis, etc. Dresdæ et Lipsiæ. 1734.

Swen Rinnann, fœrsœk till jœrnets historia, med tillœmpning fœr slœgder och handwerck. Stockholm. 1782. Cet ouvrage a été traduit en allemand avec notes par E. J. B. Karsten. *Lignitz.* 1814 *et* 1815.

G. Jars, voyage métallurgique.

C. E. Gellert, Anfangsgründe zur metallischen chemie. Leipzig. 1751, 1776.

J. G. Wallerii, elementa metallurgiæ, speciatim chemicœ. Holm. 1768.

J. A. Cramer, Anfangsgründe der Metallurgie. Blankenburg et Quedlinburg. 1774, 1777.

H. Pini, de venarum metallicarum excoctione. Vindob, vol. I^er^, 1780, II 1781.

J. F. Gmelin, schimische Grundsaetze der Probir und Schmetzkunst. Hall. 1786.

J. A. Scopoli, Anfangsgründe der Metallurgie. Manheim. 1789.

W. A. Tiemann, systematische Eisenhüttenkunde. Nürenberg. 1801.

J. J. F. Wæhler, Grundriss der Eisenhüttenkunde. Berlin. 1806.

W. A. Lampadius, Handbuch der allgemeinen Hüttenkunde (le 4^e^ volume est consacré à la sidérurgie). *Gœttingen.* 1801, 1810.

T. L. Hasse, Grundlinien der Eisenhüttenkunde. Leipzig. 1801.

F. A. V. Marcher, Beitræge zur Eisenhüttenkunde. Leipzig. 1801, 15 volumes, *Klagenfurth.* 1805, 1812.

F. A. V. Marcher, Notizen und bemerkungen über

den Betrieb der Hohœfen und Rennwerke ; 1 vol. *Klagenfurth.* 1808, 1811.

J. H. Hassenfratz, la sidérotechnie ou l'art de traiter les minérais de fer, pour en obtenir du fer, de la fonte ou de l'acier; tom. I, IV. Paris. 1812.

Traité du fer et de l'acier, contenant un système raisonné sur leur nature, la construction des fourneaux, les procédés suivis dans les différens travaux des forges, et l'emploi de ces deux métaux. Paris. 1804.

Blumof, Encyclopœdie der gesammten Eisenhüttenkunde und der davon abhœngenden Künste und Standwerke. Giessen. 4 vol. 1816 à 1820

Kurze Anleitung zur Eisenhüttenkunde in mineralogischer, chemischer und hüttenmœnnischer Hinsicht. Ein Handbuch für Hammergewerke, officianten, etc. Sondershausen. 1819.

Muller, übereinige Gegenstœnde der Eisenhüttenkunde. Hall. 1822.

Volhaun, Beitrœge zur neueren Geschichte des Eisenhüttenwesens. Eichstadt. 1825.

Jern-Kontorets Annaler. Stockhslm de 1817 *à* 1826. 10 vol.

Traduction en français de la première édition de mon Manuel de la métallurgie du fer, par F. J. Culmann. Metz. 1824.

Abt, Versuch eines sistematisches Verzeignisses der Schriften und Abhandlungen vom Eisen, als Gegenstand des Naturforschers, Berg und Hüttenmanns, Künstlers und Handwerkers, Kaufmanns, Staatshaushælters und Gessetzgebers. Berlin. 1782.

J. G. L. Blumhof, vollstœndige systematische Litteratur vom Eisen, in mineralogischer, chemischer, technologischer, œkonomischer, cameralistischer und medicinischer Rücksicht. Brunswick. 1803.

40. La préparation du fer est devenue la branche d'industrie la plus essentielle, par les bénéfices immédiats qu'elle procure aux maîtres de forge, par le bien général qu'en retire la société et par les avantages qu'elle offre aux gouvernemens; nulle autre n'occupe tant de bras, ne produit une circulation d'argent si active et si constante, n'exerce une influence si directe sur la richesse de l'état et l'aisance du peuple. Il est de l'intérêt particulier de tout gouvernement de la favoriser, de la soutenir par les mesures les plus efficaces et de la porter au dernier degré de prospérité, soit par des dispositions administratives*, et des relations extérieures établies pour procurer le débit des marchandises, assurer le sort du fabricant, et ne pas le forcer de vendre à trop bas prix; soit par des secours immédiats qu'il doit accorder dans des circonstances extraordinaires; soit enfin par d'autres sacrifices pour introduire de nouveaux procédés, faire des essais, encourager, éclairer les propriétaires en courant lui-même le risque des innovations et des entreprises hasardeuses.

Le fisc sera amplement dédommagé de ces avances, par les impôts de tous genres qu'il percevra sur les établissemens, les ouvriers et le personnel nombreux dont l'existence se rattache au travail du fer. Mais ce qui doit fixer particulièrement l'attention du gouvernement, ce sont les avantages si précieux qui en résultent pour l'économie rurale, pour les autres branches d'industrie, pour sa sûreté et sa force extérieure.

* Par des réglemens particuliers sur les usines; par des lois prohibitives de l'introduction des fers étrangers; par des prix, des brevets et des privilèges qu'il doit accorder pour les nouvelles inventions; par des avantages qu'il faut faire aux ouvriers étrangers; par des ordonnances qui doivent régler l'estimation des bois; par l'érection de lieux d'entrepôts pour la commodité du public et du vendeur; par la construction et l'entretien de routes et de canaux pour faciliter les transports; enfin par un grand développement donné à l'emploi du fer. Note de l'Auteur.

41. L'Angleterre occupe le premier rang parmi toutes les nations chez lesquelles la métallurgie du fer est dans un état prospère. Elle se distingue particulièrement sous le rapport de ses procédés technologiques, de la perfection des machines et de l'immense production qui en est le résultat ; elle est devenue l'école du sidérurgiste, quoiqu'elle doive au continent l'invention des hauts-fourneaux, du fer-blanc et de l'acier de cémentation.

L'esprit entreprenant des anglais s'est porté avec une égale activité vers la préparation du fer, la fabrication des objets coulés, du fer-blanc, de l'acier et sur-tout de l'acier fondu. La sidérurgie a pris chez eux un développement gigantesque ; ils ont montré aux autres peuples, sur quel fondement doit s'asseoir la prospérité industrielle d'une nation. L'Angleterre connaissait le fer avant le cuivre : elle semblait donc prédestinée à devenir la terre classique d'une industrie qui devait l'élever un jour à ce haut période de richesse et de force extérieure.

Déjà, vers la fin du seizième siècle, les forêts se dépeuplaient dans ce royaume ; pour en prévenir la ruine totale, on défendit l'établissement de nouvelles usines. Au commencement du dix-septième, on fit des essais avec la houille, pour la substituer au charbon de bois. Charles I^er^ donna à trois personnes, en 1627, un privilège qui devait durer 14 ans ; il les autorisait exclusivement à fondre les minérais de fer avec de la houille. Il paraît que cette entreprise ne réussit point alors, car ce n'est qu'au commencement du dix-huitième siècle que l'on parvint à la mettre en exécution ; et l'affinage de la fonte, au moyen du charbon de terre, n'obtint un succès complet qu'en 1784.

La première ordonnance du gouvernement, relative aux usines à fer, remonte à 1354. La production annuelle en

fonte est estimée par M. de Villefosse, à 7 millions de quintaux métriques.

En Russie, la fabrication du fer est devenue depuis 50 ans, un objet important. On est étonné du mouvement général de perfectionnement imprimé à ce vaste empire, et en particulier de ses progrès dans cette branche d'industrie. Si la richesse minérale du pays favorise les efforts de ses habitans, le mérite du gouvernement n'en est point diminué, puisqu'il sait les encourager. La Russie nous offre aujourd'hui des établissemens qui peuvent rivaliser avec ceux des anglais; et quoique le travail du fer y soit encore tout récent, on y trouve toutes les améliorations essentielles qu'on doit à l'Angleterre.

M. de Villefosse fixe la production annuelle, y compris celle de la Sibérie, à 1,675,679 quintaux; mais il est probable que cette estimation se trouve beaucoup au-dessous de la réalité.

La Suède tient le troisième rang parmi les pays productifs en fer. La nature l'a dotée, sous ce rapport, avec tant de libéralité, qu'elle laisse peu de chose à faire au génie de l'homme pour augmenter et améliorer les produits sidérurgiques. C'est pour cette raison que les procédés n'y ont pas atteint un très-haut degré de perfection. Quoique ce soit la patrie des métallurgistes célèbres, qui, les premiers, aient donné une forme scientifique à l'art des forges, cependant son exécution pratique n'y fut jamais à la hauteur des lumières répandues dans leurs écrits, parce que les excellens minérais dont ce pays est pourvu avec une extrême profusion, ne font pas sentir le besoin de perfectionner le travail. Mais on peut citer comme modèles ses mesures administratives, pour la protection d'une industrie qui forme, pour ainsi dire, la base de son existence.

La Suède produit annuellement un million et demi de quintaux de fer, et la Norwège 135,000, dont une grande

partie est exportée en Allemagne, en Angleterre, en France, en Espagne, en Portugal.

La France a fait des progrès dans certaines parties de la sidérurgie; mais dans d'autres elle est restée en arrière. Ne pouvant produire assez de fer pour ses besoins multipliés, elle en importe de l'Allemagne et de la Suède. La qualité de ses fers est extrêmement variable, vu la grande étendue de ce royaume. Convaincu de toute l'importance de l'art des forges, le gouvernement joint ses efforts à ceux des particuliers pour naturaliser dans ce pays les nouvelles découvertes. La production du fer en barres dans le royaume de France est maintenant estimée à 442,000 quintaux métriques par an, et elle s'accroit tous les jours *.

La monarchie autrichienne possède d'excellens minérais en Bohême, dans la Hongrie, le Tyrol, la Styrie, la Carniole et dans presque toutes ses provinces; mais la manière de travailler le fer y est susceptible d'une foule d'améliorations, qui cependant seront ajournées long-temps encore, à cause de circonstances locales, et en raison des difficultés que l'on rencontre quand on entreprend de changer la routine établie, pour lui substituer des procédés nouveaux. La qualité supérieure des minérais, la facilité de les réduire, sont comme en Suède, des causes qui retardent le perfectionnement des méthodes.

L'Autriche produit annuellement, selon M. de Villefosse, 1,010,400 quintaux de fer. Mais cette estimation doit être augmentée depuis le traité de Paris.

L'Espagne était célèbre pour ses fers dans les temps anciens; elle les exportait au loin, même encore dans le

* Le chiffre de 442,000 quintaux mét. ne se rapporte qu'au fer fabriqué d'après les nouveaux procédés; pour obtenir celui qui représente toute la production, il faut ajouter encore 569,540 quintaux mét. qu'on obtient au charbon de bois. De sorte que l'on fabrique annuellement en France 1,011540 quintaux métriques de fer en barre. Le T.

dixième siècle. De nos jours, il ne lui reste que la réputation de ses produits sous le rapport de leur qualité. Ils sont très-faibles et insuffisans pour ses besoins. M. de Villefosse les estime à 180,000 quintaux. Le gouvernement, en négligeant toutes les ressources du pays et les moyens d'amélioration, a consommé la ruine de cette branche d'industrie.

Il est inutile de faire mention du Portugal; son administration antérieure, jointe à ses relations présentes, ont paralysé les efforts industriels de ses habitans; tous les fers qu'ils consomment sont importés de la Suède et de l'Angleterre.

La production annuelle du fer dans le royaume de Prusse, a été considérablement augmentée par le traité de Paris. On peut l'estimer à 300,000 quintaux métriques. L'art des forges a pris un développement extraordinaire en Silésie; cette province doit sa prospérité croissante à l'activité et aux vues profondes de deux ministres d'état, Heinitz et Reden. Elle doit au dernier des établissemens qu'on ne pouvait rencontrer qu'en Angleterre. La Silésie, qui en 1780 importait encore des fers de la Suède, présente aujourd'hui une exportation annuelle de 50,000 quintaux métriques. Les usines de la Marche et de la Westphalie sont très-nombreuses; leurs productions sont renommées sous le rapport de la qualité. Le gouvernement, convaincu de l'importance de cette branche d'industrie, saura la protéger par des mesures efficaces.

Le royaume de Hanovre possède d'excellentes forges, mais leurs produits ne suffisent pas à ses besoins. Il en est de même de la Bavière et du Wurtemberg.

Nous avons peu de renseignemens sur l'extraction du fer en Afrique et en Asie: les peuples divers qui habitent ces deux parties du monde achètent ce métal, ou s'ils l'obtiennent de leur travail, c'est par les procédés les plus imparfaits.

L'Amérique ne connaissait pas le fer, avant qu'elle fût découverte par les Européens; le cuivre y était employé pour les instrumens et les armes; les habitans occupaient par conséquent un des derniers rangs dans la civilisation.

L'Amérique méridionale produit, même aujourd'hui, très-peu de fer; mais les Etats-Unis ont donné une grande extension à sa préparation; nous leur payerons ici un juste tribut d'éloges. En 1730, on construisit les premières forges dans la Pensylvanie, la Virginie et le Maryland; en 1737, on fit dans le parlement la motion de faire venir la fonte de l'Amérique pour épargner les bois de l'Angleterre, mais cette demande fut rejetée; et les anglais, jaloux déjà de la prospérité de cette colonie, sollicitèrent et obtinrent, en 1750, un acte du parlement, pour protéger l'exportation de leurs fers en Amérique, et pour y empêcher la construction de nouvelles usines. Malgré ces entraves, le travail du fer y prit de jour en jour plus d'extension. On peut en estimer la production annuelle à 500,000 quintaux; elle augmente continuellement, et le temps n'est pas éloigné, où l'on verra les fers de l'Amérique débarqués et vendus dans des ports du continent européen.

42. En étudiant les propriétés physiques du fer, et particulièrement la manière dont il se comporte dans les températures élevées, on doit le considérer dans ses trois états métalliques; mais ses propriétés chimiques en sont indépendantes, parce qu'on ne doit examiner ses combinaisons avec d'autres corps qu'en le prenant lui-même dans un état de pureté parfaite, et que la fonte et l'acier sont des composés de fer avec d'autres substances. Le mot de fer signifiera donc du *fer forgé le plus pur*.

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DU FER.

DE LA COULEUR DU FER.

43. La surface du fer est exposée à de promptes altérations, occasionnées par l'influence de l'air humide. Pour juger de sa couleur, il faut le nettoyer ou mieux encore examiner l'aspect de sa cassure lorsqu'elle est récente; car la couleur du fer frotté ou poli, varie selon la manière dont l'opération a été faite; pour en avoir une idée juste, c'est donc la cassure que nous consulterons.

Le fer brut est toujours couvert d'une enveloppe grise noirâtre. On s'est servi de cette circonstance pour adopter une couleur faussement appelée *gris de fer ;* elle ne correspond qu'à la couleur altérée de ce métal, dont la surface peut devenir aussi, dans certaines circonstances, jaune rougeâtre ou passer au rouge brunâtre.

44. La véritable couleur du fer est le gris clair avec l'éclat métallique, mais elle est soumise à beaucoup de variations, sous le rapport de son brillant et de son intensité. Lorsque le fer est à la fois blanc et brillant, ou terne et foncé en couleur, c'est un indice de sa mauvaise qualité. Le contraire a lieu lorsqu'il est blanc et terne, ou brillant et foncé en couleur. Une couleur claire et légèrement bleuâtre avec un éclat très-vif, sont les signes auxquels on reconnaît le fer brûlé; si dans ce cas, elle tire sur le blanc, c'est un fer cassant à froid; le fer

rouverin se reconnaît au contraire à sa couleur foncée presque dépourvue d'éclat; lorsqu'elle se rembrunit davantage et qu'elle devient encore plus ternie, elle est l'indice d'un fer mou et cassant ou d'un fer mal affiné.

45. L'acier a une couleur blanche grisâtre, approchant quelquefois du blanc et jamais du bleu. Il jouit de l'éclat métallique comme le fer, mais son brillant n'est pas aussi vif*. La couleur seule ne suffirait pas pour les distinguer l'un de l'autre, il faut y joindre encore la texture.

46. Les variations de couleurs, si sensibles dans le fer en barres, le sont encore bien plus dans la fonte, qui renferme une plus grande quantité de substances étrangères. Parmi ces substances, c'est le carbone qui lui donne ses propriétés caractéristiques. Depuis long-temps on a divisé le fer cru en deux classes principales: la fonte blanche et la grise, qui diffèrent entre elles non-seulement par les couleurs, mais aussi par toutes leurs propriétés physiques et chimiques. L'une et l'autre peuvent être obtenues de tous les minérais de fer, bien que certains minérais ne soient presque traités que pour fonte blanche et d'autres pour fonte grise.

47. La couleur de la fonte grise, passe du noir au gris-clair, et de manière que l'on reconnaît souvent plusieurs nuances dans un seul morceau. A mesure qu'elle devient plus foncée, l'éclat métallique augmente. Quelquefois la couleur de cette espèce tire plutôt sur le bleu que sur le gris. En général, elle ne suffit point seule pour faire connaître la qualité du métal; toutefois la fonte grise qui a une couleur claire et un éclat métallique faible est en général de mauvaise qualité.

* Il ne faut pas oublier qu'il n'est question ici que de l'aspect de la cassure et non pas du brillant qu'on peut donner à l'acier au moyen du poli. Le T.

48. Dans son état de perfection, la fonte blanche a une couleur argentine, jointe à un fort éclat métallique. Employée fréquemment en Allemagne pour la fabrication de l'acier, elle s'appelle aussi floss-d'acier (fonte pour acier), ou bien *floss-lamelleux*, dénomination qu'elle conserve tant qu'elle est blanche-argentine, et lors même qu'elle a cessé d'être lamelleuse. Mais lorsque sa couleur prend une nuance grise-bleuâtre, que sa cassure paraît striée ou esquilleuses, et qu'elle présente quelques taches grises, le fer cru passe à la deuxième espèce de fonte blanche appelée *floss-à-fleur*. Cette variété se rencontre le plus souvent avec la fonte grise.

Dans une troisième espèce de fonte blanche, on reconnaît encore un fort éclat; mais sa couleur tire sur le gris, et sa texture est indéterminée. On compare souvent sa cassure avec celle d'un fromage rompu. Cette variété se rencontre très-fréquemment. C'est la fonte blanche par surcharge de minérais.

Si la couleur blanche devient encore moins claire et passe au bleuâtre, que sa cassure soit crochue et présente une foule de vides ou de soufflures, le métal prend le nom de floss-caverneux, ou floss-tendre.

Ces fontes blanches, mais sur-tout les trois premières espèces, se rapprochent l'une de l'autre, au point qu'il est souvent difficile de les distinguer. La couleur blanche ne donne aucun renseignement sur la qualité du métal, bien qu'elle indique qu'on ne peut l'employer à certains usages, par exemple, pour la fabrication des objets moulés.

49. Il arrive très-fréquemment que la fonte blanche et la grise, se montrent toutes les deux sur la cassure. Quelquefois elles sont bien distinctes l'une de l'autre; et dans ce cas la fonte grise forme une couche plus ou moins épaisse, régnant dans toute la longueur de la gueuse, qui alors est ordinairement un floss-lamelleux. On appelle ce genre de fer cru, fonte rubanée.

Le plus souvent la fonte grise ne paraît que sous la forme de petites taches dans le fer cru qui peut être un floss-à-fleur ou bien un floss-lamelleux. La fonte blanche est quelquefois si prépondérante dans la masse, qu'elle lui communique toutes ses propriétés; quelquefois aussi c'est la fonte grise qui domine. Alors la fonte blanche se dessine par petites étoiles sur un fond gris, et le métal reçoit les propriétés de la fonte grise. Au reste, il n'existe aucune proportion déterminée dans ces mélanges qui tous portent le nom *de fonte mêlée* ou bien *de fonte truitée*. Si la couleur grise y domine, la fonte est dite faiblement mêlée; si c'est la fonte blanche, on l'appelle fortement mêlée. Ces dénominations ne servent d'ailleurs qu'à indiquer l'aspect extérieur de la fonte, et n'ont aucun rapport avec son degré de pureté.

5o. Dans beaucoup d'objets fabriqués, il est nécessaire de faire ressortir la couleur véritable du fer. Pour le dégager de son enveloppe grise noirâtre, on le lime, on le passe sur la meule, on le décape. On augmente l'éclat de la surface ainsi préparée, en l'écurant avec du sable, des scories, etc. Si on veut lui donner un brillant parfait, on la frotte avec des corps durs, tels que l'agathe, la sanguine, l'acier et ensuite avec des poudres naturelles ou confectionnées; la première opération s'appelle le *poli brut;* la deuxième, le *poli fin.*

DE LA TEXTURE DU FER.

51. On juge en général de la qualité du fer par sa texture, sa couleur et son éclat. Il est donc nécessaire de bien connaître le tissu de ce métal, et on ne peut l'étudier que sur des cassures récentes.

Lorsque le fer est très-pur, sa texture est grenue. Si on veut l'examiner, il importe de tenir compte de la grosseur

des barres; en négligeant cette attention, on peut tomber dans les erreurs les plus graves: le fer carré ne doit pas avoir moins d'un pouce, et le fer plat, moins de six lignes d'épaisseur.

Des grains qui n'ont aucune forme déterminée, qui ne sont ni à lames ni à facettes, qui, par leurs pointes crochues et déliées, annoncent une prédisposition nerveuse et décèlent, pour ainsi dire, l'action de la force extérieure qui les a étirés et séparés; ces grains, dis-je, sont un indice certain du fer le plus tenace, qui, étiré en barres minces, présentera une texture parfaitement nerveuse, dont les filamens seront blanchâtres et très-alongés, parce qu'il faut une grande force pour en déterminer la rupture *.

La cassure lamelleuse ou à facettes plus ou moins grosses, est toujours un signe de mauvais fer. Il est brûlé, si le tissu est à lames en forme d'ardoises; cassant à froid, si les lames sont très-minces et qu'elles se détachent comme des écailles. Un fer mal affiné se reconnaît aux facettes entremêlées de nerf **.

---

* Pour examiner une cassure avec beaucoup de soins, il faut se placer à l'ombre et présenter la cassure aux rayons du soleil. Les grains paraîtront alors arrondis et surmontés chacun de plusieurs pointes très-fines. Si la cassure n'était pas toute récente, on ne verrait que des grains ronds sans pointes, mais ils suffiraient déjà pour faire juger de la nature du fer. Nous rencontrons rarement des fers d'une aussi bonne qualité dans nos forges, même dans celles qui jouissent de la meilleure réputation.

Le T.

** On voit très-souvent des fers d'une grainure extrêmement fine, grise claire et terne; ils sont tellement répandus dans le commerce, que Réaumur en a fait deux classes distinctes, qui, d'après lui, ne diffèrent que par le plus ou le moins (Voyez son 5e mémoire, page 158 et 159.) Ces fers doivent être rangés parmi les fers incomplétement affinés, comme les fers à facettes entremêlés de nerfs: ceux-ci ont perdu leur carbone, mais ils renferment encore des substances étrangères; les autres contiennent encore du carbone en excès, ces derniers peuvent être, malgré cela, d'une

Les deux dernières espèces passent de l'une à l'autre par une infinité de nuances; leur qualité s'améliore à mesure que les facettes font place à la texture nerveuse; mais les filamens ne seront jamais ni aussi longs ni d'une couleur aussi claire que ceux des fers forts dont la cassure n'offre que des grains fins surmontés de pointes crochues et déliées. Les fibres nerveuses du fer rouverin ou brisant à chaud, sont toujours assez longues; cette espèce peut se rapprocher ou des fers à facettes ou des fers forts, selon qu'elle est plus ou moins entachée du défaut qui la caractérise. Ceux-ci peuvent aussi se rapprocher entre eux par des transitions insensibles. Le plus mauvais est celui qui, forgé en barres très-minces, ne montre aucune trace de nerf.

52. Le fer en grosses barres ne présente jamais de nerf; plusieurs métallurgistes en ont conclu que les filamens nerveux étaient un résultat du battage. Bien que cette assertion ne soit pas sans justesse, sous un certain rapport, il est cependant très-sûr que tous les fers ne sont pas susceptibles de prendre du nerf, lors même qu'on les

excellente qualité, lorsque les grains fins et aciéreux sont mêlés de grains à pointes ou crochus, qui annoncent une disposition nerveuse; ils sont beaucoup moins bons, lorsque les grains fins ont une couleur foncée et sont entremêlés de larges facettes. Les fers, selon leur nature, sont plus ou moins disposés à prendre cette grainure, elle appartient sur-tout aux fers forts et durs. Mes propres expériences m'ont prouvé que, si on la rencontre dans les fers forts et mous ou médiocrement durs, la cause secondaire à laquelle il faut l'attribuer est toujours la même, c'est le manque d'air qui provient, soit de l'imperfection des machines soufflantes, soit du travail de l'ouvrier. Les affineurs appellent entre eux, avoir la *main chaude*, cette mauvaise habitude de ne pas présenter le fer suffisamment à l'action du vent. On peut le corriger alors, en lui donnant plusieurs chaudes suantes; étiré ensuite en barres minces, il peut montrer un nerf très-blanc. Il n'en est pas de même de celui qui a manqué d'air et de chaleur à la fois, par le mauvais état des soufflets. On le reconnaît à son grain terne qu'il conserve même sous le plus petit échantillon. Le T.

étire en barres très-minces. Cette disposition de changer leur grainure en un tissu filamenteux est donc inhérente à leur nature *.

* Il est généralement reconnu que le fer s'aigrit par le battage à froid. Mais, comme on a prétendu aussi qu'il acquérait du nerf, et que les maîtres de forges pouvaient se servir de ce moyen pour donner à des fers médiocres cette texture si recherchée dans le commerce, nous avons cru devoir éclaircir ce fait par quelques expériences; il en résulte :

1° Que le fer le plus nerveux (quand il aurait même un pouce d'épaisseur et plus encore), étant placé dans le sens de la longueur de l'enclume, perd tout son nerf en 10 à 15 coups de marteau qu'il reçoit à froid ou chauffé seulement jusqu'au premier degré de la chaleur lumineuse; que, par cette opération, il devient très-aigre et très-fragile; qu'il reprend le grain qui convient à sa qualité sans montrer une trace de nerf dans sa cassure; que ce grain un peu plus fin et plus blanc qu'il ne l'aurait été sans le martelage à froid, est très-beau si le nerf est clair, et qu'il est à facettes lorsque les filamens nerveux sont courts et d'une couleur noirâtre.

2° Que ce fer écroui, chauffé au prémier degré de la chaleur lumineuse, et battu ensuite, reprend en s'alongeant, le nerf qu'il avait perdu, si toutefois il est placé en travers de la table de l'enclume, et qu'il le perd de nouveau, lorsque, pour achever le *forgeage* de la barre, on la place dans le *sens de la longueur* de l'enclume.

3° Que le fer qui a perdu son nerf par le martelage à froid, le reprend en partie, en recevant un fort recuit poussé jusqu'à la chaleur rouge claire. Si, comme dans les arsenaux, le recuit n'est donné qu'à la température rouge cerise, le fer ne reprend pas autant de nerf que s'il est chauffé au rouge rose.

4° Que du fer très-médiocre, pourvu qu'il ne soit pas de la plus mauvaise qualité, peut acquérir du nerf, étant placé en travers de la table de l'enclume et forgé soit à froid soit au premier degré de la chaleur lumineuse, si cette table et la panne du marteau sont très-étroites; mais qu'il perd son nerf lorsqu'on veut achever ou parer la barre, et qu'il devient ensuite si cassant, que, sans faire d'entaille, on peut en déterminer la rupture.

D'après cela, nous devons être convaincus :

I. Qu'il est impossible de donner du nerf au fer marchand, en le battant à froid, parce qu'on est toujours obligé de le parer.

II. Que les meilleurs fers peuvent devenir par cette opération, aigres comme l'acier trempé, et plus fragiles que les fers tendres.

Le fer dur et tenace, celui qui résiste le mieux à la force extérieure, conserve aussi le plus long-temps sa texture grenue. Le fer mou devient fibreux plus tôt; ses grains se laissent aplatir avec plus de facilité. De leur force de cohésion dépend aussi celle des filamens nerveux, leur longueur et l'effort qu'il faut employer pour les rompre. Dans celui qui ne montre aucun nerf, il y a si peu de liaison entre les grains, que ces derniers, au lieu de s'étendre en fibres, sont aplatis seulement, et forment des lames qui, manquant aussi de cohésion entre elles, ne sont capables que d'une faible résistance. C'est pourquoi, les fers dont la cassure présente des lames plates ou du gros nerf noir, appartiennent à la même classe et peuvent se rapprocher par des transitions insensibles.

III. Qu'on favorise la formation du nerf, en forgeant le fer sous un marteau dont la panne est très-étroite.

IV. Enfin, que nous devons juger de la qualité du fer en barres par la grainure et non par la difficulté qu'on éprouve à le rompre; difficulté qui est modifiée d'ailleurs par d'autres circonstances, sur-tout par la plus ou moins grande stabilité de l'enclume et des points d'appui.

On pourrait demander pourquoi le fer devient si fragile, lorsqu'en le battant à froid, on le met dans une circonstance telle qu'il ne puisse s'alonger. Il est possible que ce soit à la fois au resserrement des molécules et à une action chimique qu'il faille en attribuer la cause.

En examinant un morceau de fer qui a été écroui à moitié, on voit régner autour de la cassure, une bande d'un grain plus fin, plus serré et plus blanc que celui du centre: si l'on continue de battre ce fer à froid, la bande de grain fin devient de plus en plus large, jusqu'à ce que toute la cassure présente le même tissu; il s'ensuit donc que le martelage à froid rapproche les molécules du fer plus qu'elles ne l'étaient auparavant. Or il est évident qu'un grand rapprochement des molécules doit nuire à la flexibilité du métal; c'est ainsi qu'une grosse barre composée de plusieurs lames, devient d'autant plus flexible que le soudage est plus mal fait, ou bien que les parties sont moins rapprochées; et la résistance qu'un corps peut offrir au choc est toujours proportionnée à sa flexibilité. Le plomb, quoique moins tenace que le fer, résiste aux secousses; tandis que l'acier, dont la ténacité surpasse de moitié celle

53. Le fer ductile n'est jamais cristallisé. En pièces très-fortes qui n'ont pas encore éprouvé de pression mécanique, il ne montre qu'un tissu crochu, sans aucune autre forme cristalline. Mais on a reconnu que le fer qui n'est point susceptible de prendre une texture fibreuse, est toujours de médiocre qualité (52). C'est pour cette raison que l'on n'emploie pour les objets de grande résistance, que du fer qui peut acquérir du nerf. On a fait en Suède des expériences pour connaître sous quelles conditions *le bon fer* devient le plus nerveux; ces expériences ont présenté les résultats suivans:

1° La chaleur nécessaire pour arrondir le fer sous le martinet ne suffit pas pour donner du nerf au bon fer *.

---

du fer, se laisse briser par une très-légère percussion. Le martelage à froid, effectué sur une barre placée dans le sens de la longueur de l'enclume, rapproche les molécules, détruit donc la flexibilité du fer et en augmente l'aigreur. Le martelage à chaud ne peut produire le même effet, puisque le calorique maintient les molécules à une certaine distance, leur donne la facilité de se mouvoir dans toutes les directions, et d'échapper de cette manière à la force comprimante du marteau. Si la barre est posée en travers de l'enclume, les molécules pouvant glisser et s'étendre, ne se compriment pas aussi fortement.

Quant à la deuxième cause à laquelle on peut attribuer l'aigreur du fer écroui, nous présumons, puisque son grain devient plus blanc, qu'elle est semblable à celle qui détermine le durcissement de l'acier au moyen de la trempe. Ce dernier, ainsi que le fer ductile, contien une plus ou moins grande quantité de carbure de fer interposé entre les molécules; par la chaude, le carbone mélangé se combine avec toute la masse; et par le refroidissement subit, il est saisi et ne peut plus s'en séparer. Or, le martelage peut, en échauffant le métal, en resserrant les molécules du fer et du carbone, et en les mettant dans un état électrique, opérer la combinaison des deux substances; de sorte que le fer se trouve dans le même cas que s'il avait été chauffé au rouge et plongé dans l'eau: aussi remarque-t-on que c'est particulièrement le fer dur, celui qui est susceptible de prendre la trempe, qui s'aigrit le plus par l'écrouissement. Le T.

* On suppose nécessairement que la barre est battue dans le sens de

2° L'eau qui tombe sur les barres pendant le battage, ne peut apporter aucune modification à la texture nerveuse.

3° Le bon fer nerveux chauffé *au blanc soudant* et refroidit dans l'eau sans avoir été forgé, devient parfaitement grenu. Un semblable fer soumis une deuxième fois à la chaleur et ensuite étiré, reprend après un lent refroidissement, sa texture nerveuse. Du fer nerveux chauffé *au blanc non soudant*, ne perd sa texture fibreuse qu'en partie par la trempe;

4° Du bon fer à cassure grenue, chauffé au blanc soudant, présentait toujours des endroits fibreux après le premier étirage, et devenait, après plusieurs opérations semblables, parfaitement nerveux. Le changement était plus ou moins prompt, selon la qualité du fer.

Il suit de là que le fer qui, chauffé au blanc et travaillé sous le marteau, conserve une texture grenue, ne doit pas s'employer pour cables ou pour chaînes, etc. Mais il ne s'ensuit point que tous le fers nerveux puissent être employés à des objets qui exigent une grande résistance, parce qu'il existe des fers nerveux de médiocre qualité (51, 52).

54. De la texture du fer dépend sa compacité; c'est en vertu de cette compacité qu'il peut recevoir un poli parfait. Le fer fort et dur, dont la cassure présente un grain uniforme, est le meilleur sous ce rapport; le plus mauvais c'est le fer mou, le fer à facettes qui prend facilement des fibres courtes et grosses. Le fer dont la cassure est à lames plates, peut acquérir également un très-beau poli, mais sa mauvaise qualité en fait restreindre l'emploi.

Malgré tous les soins que l'on donnerait à la préparation de ce métal, il est impossible d'éviter les solutions de con-

---

la longueur, et dans ce cas on a raison. Mais mise en travers de l'enclume, elle prendra du nerf, à ce degré de chaleur et même à un degré plus faible. Voyez la note du paragraphe précédent. Le T.

tinuité qu'on rencontre toujours dans le tissu des meilleurs fers. Les petites défectuosités de ce genre, s'appellent *cendrures ;* elles se manifestent au polissage par des grains ou taches noires; lorsqu'elles sont plus grandes, on les désigne ordinairement sous le nom de *pailles*, de *moines*, etc., etc. Ces accidens, fâcheux quant au poli, sont en quelque sorte un indice de la bonne qualité du fer.

55. La texture de l'acier est également grenue, mais elle se distingue de celle du fer, en ce que ses grains ont plus de finesse, qu'ils sont presqu'imperceptibles, et que sa cassure est compacte et unie. L'acier est d'autant meilleur que son grain est plus égal et plus serré. Une texture à grains distincts et bleuâtres, et l'existence des filamens nerveux dans l'acier, sont toujours une preuve de la présence du fer et un indice de médiocre qualité. Sa grande dureté l'empêche de montrer du nerf, lors même qu'on l'étire en barres très-minces.

56. La texture de la fonte grise est très-variable; elle passe d'un tissu grenu à une cassure unie. Ce qui la caractérise, c'est que la couleur foncée s'éclaircit à mesure que les grains se resserrent et qu'ils deviennent moins appréciables. Les grains plats et écailleux sont le signe d'un haut degré d'impureté.

La fonte blanche passe de la cassure rayonnante à la cassure esquilleuse, et de cette dernière à la cassure compacte et presque conchoïde: la couleur blanche disparaît avec la texture rayonnante. La texture du floss caverneux est plutôt grenue que crochue; elle forme la transition à celle de l'acier.

57. Comme la fonte est un composé très-variable de fer et d'autres substances, les inductions que l'on voudrait tirer de sa couleur et de sa cassure, relativement à sa qualité, pourraient être très-fausses. Il y a des cas où la fonte blanche lamelleuse mérite la préférence, et d'autres où c'est la fonte grise grenue.

58. La fonte grise ne cristallise jamais ; sa texture est toujours grenue et écailleuse. Les cristallisations qu'on remarque quelquefois dans les cavités de ce fer cru, ne se composent pas uniquement de fonte. Ce sont des substances qui, formées dans les circonstances voulues, contiennent probablement des proportions déterminées de fer et de carbone combinés avec d'autres corps. Leur forme est celle de la pyramide quadrangulaire dont les faces ne sont point achevées. Ces cristallisations se trouvent aussi dans des fontes blanches, les floss-caverneux et les floss-lamelleux exceptés. Ceux-ci sont eux-mêmes des masses crystallines composées de pyramides obliques dont les angles n'ont pas encore été déterminés. Quant aux floss-caverneux, ils se refroidissent si promptement, qu'ils ne peuvent donner lieu à des formations cristallines.

59. Le tissu de l'acier, la finesse de son grain, et la propriété de ne point prendre de nerf, le rendent plus compacte que le fer et plus convenable aux ouvrages polis. La fonte blanche conviendrait aussi pour ces objets, si sa fragilité n'y mettait obstacle. La fonte grise manque de compacité et ne peut recevoir un beau poli.

DE LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE DU FER.

60. Il y a si peu de concordance dans les résulats obtenus par les divers auteurs qui se sont occupés de la détermination des pesanteurs spécifiques des métaux, qu'on ne doit pas être surpris de rencontrer des variations analogues dans les pesanteurs spécifiques du fer, de la fonte et de l'acier. En tous cas, il est hors de doute que ces différences ne peuvent être entièrement attribuées aux modes d'opérer, et qu'elles tiennent sur-tout à la nature des échantillons qui ont été soumis aux essais. Voici un tableau de la pesanteur spécifique des différens métaux les plus connus :

Platine	20,857 à 21,74; or.
Or, ...	19,200 à 19,40.
Mercure.	13,575 à 13,613.
Plomb	11,352 à 11,358.
Argent	10,474 à 10,510.
Cuivre	8,788 à 8,878.
Nickel.	8,279 à 9,000.
Arsenic.	8,31.
Acier.	7,79.
Fer ductile	7,30.
Fonte.	7,00.
Etain	7,29 à 7,299.
Antimoine.	6,702.
Zinc	6,861 à 7,191.
Cobalt	7,00.
Bismuth.	9,67 à 9,822.
Manganèse	6,85 à 8,013.
Urane.	9,00.
Tellure	6,115 à 6,343.
Cadmium.	8,604 à 8,695.
Molybdène	7,50 à 8,060.
Chrome.	5,90.
Titan.	5,30.
Scheel	17,22 à 17,60.
Palladium.	11,30 à 12,148.
Rhodium	11,00.
Iridium.	18,68.

61. La pesanteur spécifique ne peut servir à distinguer le fer de l'acier ni de la fonte, bien que l'acier soit en général plus lourd que le fer forgé, celui-ci plus que la fonte blanche et celle-là plus que la fonte grise. Mais il existe des fers forgés dont la pesanteur spécifique surpasse celle de l'acier, comme aussi certains aciers qui sont plus légers que le poids moyen des fers ductiles. On trouve même de la fonte blanche, dont la pesanteur s'approche de celle du fer forgé, et la surpasse quelquefois. Des anomalies semblables se rencontrent aussi dans les différentes espèces de fers crus.

62. On peut adopter pour termes moyens des pesanteurs spécifiques des fers et de leurs poids absolus, les nombres suivans.

DÉSIGNATION DES FERS.	PESANTEUR SPÉCIFIQUE.	POIDS absolu DU MÈTRE CUBE.
		k.
Acier.	7,700	7700
Fer forgé.	7,600	7600
Fonte blanche.	7,500	7500
Fonte grise.	7,000	7000

Ces nombres offrent, dans la pratique, une exactitude suffisante pour servir à déterminer le poids des objets d'après leur volume.

63. Il serait intéressant qu'on fît encore des expériences exactes sur les pesanteurs spécifiques de plusieurs espèces de fonte, d'acier et de fer forgé, dont l'origine, la composition et celle de leurs minérais fussent connues. Peut-être parviendrait-on un jour à juger par ce moyen de l'état de la combinaison du fer avec d'autres corps. Voici au reste les pesanteurs spécifiques de quelques espèces de fer en barre, d'acier et de fonte déterminées par les auteurs dont les noms suivent :

Fer en barres,	Hawkbée.	7,643
Fer en barres,	Lévis	7,793
Fer aciéreux,	Rinman	7,731
Fer cassant à froid,	*id.*	7,742
Bon fer de Suède,	*id.*	7,698
Fer cassant à froid, de Reinerz,	*id.*	7,361
Fer anglais très-doux,	Pearson	7,700
Fer ordinaire,	*id.*	7,600
Acier non trempé,	Hawksbée	7,738
Acier trempé,	*id.*	7,704

Acier obtenu du fer, n° 2,	Lévis	7,618
Acier fondu, martiné,	*id.*	7,919
Le même acier trempé, rouge blanc,	*id.*	7,831
Wootz du Bengal,	Stodart et Faraday. . . .	7,730
Le même wootz refondu et martelé,	*id.*	7,787
Fonte grise,	Rinnman.	7,052
Fonte blanche de minérai donnant du fer rouverin,	*id.*	7,676
Fonte blanche à grains fins,	*id.*	7,840
Fonte grise de Silésie, (à coke)	Pearson	6,7949
Fonte mêlée de Silésie, *id.*	*id.*	7,0515
Fonte blanche de Silésie, *id.*	*id.*	7,4405
Fonte grise, de Geislautern		7,0561
Fonte grise, Peitz		6,9814

Les grandes différences qu'on remarque dans ces résultats d'expériences, doivent être attribuées principalement à la nature des échantillons de fer, d'acier ou de fonte qui ont été soumis aux opérations : et la fonte étant un corps plus composé et moins pur que le fer, doit offrir aussi de plus grandes variations dans sa pesanteur spécifique.

DE L'ADHÉSION DU FER.

64. L'adhésion, c'est-à-dire, la force avec laquelle un corps solide s'attache à un liquide quelconque, n'a pas encore été soumise à des recherches assez approfondies. Quoique son utilité ne puisse s'apercevoir dans l'état actuel de nos connaissances, il ne faut point négliger les observations existantes ; on en tirera peut-être un jour des données sur la qualité des substances liquides ou solides. Guyton-Morveau détermina l'adhésion de plusieurs corps, en faisant confectionner de chacun d'eux, un plateau rond d'un pouce de diamètre, qu'il posa sur le mercure pour le détacher ensuite. Les poids nécessaires pour enlever le plateau étaient :

Pour l'or.	446 grains.
— l'argent.	429
— l'étain.	418
— le plomb.	372
— le bismuth	317
— le zinc	204
— le cuivre	140
— l'antimoine	126
— le fer.	115
— le cobalt	8

L'adhésion ne paraît dépendre, ni de la pesanteur spécifique, ni de la ténacité du corps solide. Des essais réitérés faits avec des fluides d'égale pesanteur pourraient donner des renseignemens utiles sur cet objet.

DE LA DURETÉ DU FER.

65. On entend par dureté, la résistance opposée à l'action d'une force extérieure par les particules d'un corps sollicitées isolément; elle se manifeste lorsqu'on veut rayer, couper, forer et en général quand les particules d'un corps s'opposent successivement aux progrès d'une force qui tend à s'interposer entre elles. On peut même la reconnaître avec le marteau, si toutefois il s'agit seulement de faire céder le point même soumis au choc, et s'il n'est pas question de la résistance du corps entier dans le sens de son épaisseur.

La dureté du fer forgé est soumise à beaucoup de variations: on ne peut d'ailleurs la déterminer avec précision, parce que nous n'avons aucun moyen de mesurer ses différens degrés. Le fer qui reçoit très-facilement l'impression du marteau, est d'ordinaire flexible et tenace; mais, quoique d'une qualité excellente, il ne peut servir avantageusement à tous les usages: il faut lui préférer en général celui qui est tenace et dur à la fois. On divise le fer forgé en

fer dur et en fer mou; la texture sert de base à ce classement (51, 52, et les notes).

Le fer fort et mou prend un nerf clair, même quand il est en barres assez grosses; la couleur de ses filamens tient le milieu entre le blanc d'argent et le gris de plomb, tandis que le nerf du fer fort et dur est d'un blanc argentin, et ne se montre que dans les plus petits échantillons; mais le fer dont le nerf est court et d'une couleur foncée intermédiaire entre le gris de plomb et le gris noir, n'offre qu'une faible résistance; il est mou et cassant à la fois *. Les fers mal affinés et ceux que leurs minérais rendent cassans à froid, possèdent beaucoup de dureté; leur cassure est à lames ou à facettes. Le fer brûlé au contraire est à la fois mou et cassant.

Ce qui distingue particulièrement tous les fers forgés de l'acier, c'est qu'ils ne se durcissent pas étant chauffés au rouge et plongés dans l'eau.

66. L'acier est plus dur que le fer; on ne peut le rayer ni le couper avec autant de facilité, mais il doit être tenace en même temps. Une propriété caractéristique, qui le rend précieux pour une foule d'usages, c'est d'acquérir une grande dureté, étant refroidi subitement, après avoir été chauffé au rouge: c'est ce qu'on appelle *prendre la trempe*, parce qu'on le plonge ordinairement dans l'eau ou dans un autre liquide. L'acier qui passe avec lenteur de la chaleur rouge à la température ordinaire, participe aux propriétés du fer forgé le plus dur; mais l'acier trempé doit rayer le verre et résister aux meilleures limes.

67. La fonte grise est bien moins dure que la fonte blanche. Les fontes mêlées, celles même qui le sont faible-

* En France on divise les fers en fer fort, fer métis et fer tendre, selon leur degré de résistance. Les fers des deux premières classes peuvent être durs ou mous; ceux de la dernière sont durs et cassans à froid, et très-tendres à chaud. Le T.

ment se laissent à peine entamer par la lime et résistent toujours au foret; tandis que les fontes grises sont tellement douces, qu'elles reçoivent les impressions du marteau, qu'elles peuvent être limées, forées et coupées au ciseau avec une grande facilité. Plus la couleur grise s'éclaircit, plus la dureté augmente; c'est une règle générale dont les exceptions tiennent à des causes particulières que nous développerons plus tard. La fonte blanche lamelleuse raye le verre et possède une dureté plus forte que celle de l'acier. Pour rendre la fonte dure plus propre à la fabrication des objets coulés, on a essayé de l'adoucir; nous parlerons par la suite de cette opération. Cette grande dureté de la fonte blanche lamelleuse, lui a valu le nom de floss dur. Cependant la fonte grise ne s'appelle pas *floss tendre*. Cette dénomination n'a été réservée que pour les floss caverneux. Au reste la dureté est un caractère tellement distinctif dans le fer cru, qu'on peut affirmer qu'il contient toujours de la fonte blanche, quand il ne se laisse pas entamer par les outils, lors même que la présence de cette dernière ne serait pas décelée par sa couleur.

68. Un corps est *aigre* et cassant, lorsqu'une fente produite par une cause quelconque dans ce corps se prolonge au-delà du point où la force exerçait son action. L'*aigreur* paraît accompagner la dureté, mais elle n'en est point une conséquence nécessaire; il y a des corps souples qui sont très-durs.

Le meilleur fer est celui qui possède une grande dureté sans aigreur. Le fer tendre ou cassant à froid, est dur et aigre; mais si tous les fers tendres sont durs et aigres, il ne s'ensuit nullement que tous les fers durs et aigres doivent être rangés dans la classe des fers tendres. Les fers forts deviennent aigres par le martelage à froid, et l'acier par la trempe; mais ils perdent ce défaut en recevant une chaude, tandis que le fer tendre reste toujours aigre.

69. Le fer, l'acier et la fonte se ramollissent par l'effet de la chaleur, comme les autres corps de la nature. Des fers qu'on ne pourrait trancher, à moins d'employer une force considérable, se laissent couper facilement avec les cisailles, étant chauffés au rouge. La fonte même peut être sciée alors comme le bois et avec les mêmes outils. Si un disque de fer doux, animé d'un mouvement de rotation très-rapide, coupe l'acier le plus dur, on ne doit attribuer la cause de cet intéressant phénomène qu'au ramollissement; attendu que la barre d'acier s'échauffe bien plus que le disque de fer.

DE LA TÉNACITÉ DU FER.

70. Nous appellerons ténacité d'un corps, la résistance que toutes ses parties sollicitées à la fois peuvent opposer à une puissance extérieure qui tenterait d'en rompre la continuité *. Cette résistance peut se manifester de différentes manières : soit comme élasticité, malléabilité, ou ductilité; soit comme roideur. On l'appelle *ténacité absolue*, si elle est mise en jeu par deux puissances directement opposées qui tendent à séparer les parties du corps. Elle porte le

* En éprouvant la ténacité ou la résistance du fer, toutes ses parties sont sollicitées à la fois; elles le seront au même degré, lorsque la force qui tend à le rompre agit dans le sens de la longueur d'une barre, et inégalement lorsqu'elle fait un angle avec cette direction. La dureté et la ténacité des corps dépendent donc de leur force de cohésion; mais il paraît que, selon la forme ou l'arrangement des molécules, elle est modifiée dans les corps durs et cassans d'une autre manière que dans les corps durs et tenaces : dans ceux-ci, les molécules peuvent se déplacer, glisser les unes sur les autres sans cesser de s'attirer; dans les corps durs et cassans, la force de cohésion peut être toute aussi grande; mais, par une raison que nous ignorons et qui tient probablement à l'arrangement des molécules ou à la forme de leurs groupes, il ne faut qu'un léger déplacement de ces molécules pour les faire sortir de leur sphère d'activité. Le T.

nom de *ténacité relative*, si les deux puissances opposées, au lieu de tirer sur le corps, le compriment ou tendent à en rapprocher les parties. Enfin, on la qualifie de ténacité respective, lorsque les deux puissances font un angle avec la direction selon laquelle les parties du corps tendent à se rapprocher: on éprouve alors sa fléxibilité. Un corps est donc plus ou moins fragile, quand il est plus ou moins dépourvu de ténacité respective.

Il résulte des recherches de plusieurs naturalistes, que le fer surpasse tous les autres corps en ténacité; mais on ne connaît pas au juste l'influence que les différentes modifications du fer ductile peuvent exercer sur cette précieuse propriété. Suivant l'usage que l'on veut faire de ce métal, on donne la préférence tantôt au fer fort et dur, tantôt au fer fort et mou: le premier paraît être plus ductile et plus fort, le deuxième, plus malléable; car les diverses modifications de la ténacité des corps ne sont pas entre elles en proportion: il existe des substances qui possèdent un assez haut degré de résistance, sans être ni extensibles ni malléables. Il faut donc avoir égard à la manière dont on agit sur la ténacité des diverses espèces de fer.

71. On doit nécessairement penser que la résistance absolue des barres est en raison directe des surfaces qu'on veut séparer. Cependant l'expérience ne confirme pas toujours cette règle. Il arrive souvent que le fer offre une résistance plus ou moins grande que celle qu'il devrait avoir d'après son équarrissage; ou bien que des barres dont l'aire de la section reste la même, mais dont l'épaisseur et la largeur varient, présentent des résistances différentes. La cause de cette anomalie provient soit des changemens que subit le corps pendant qu'on en éprouve la ténacité, soit d'une véritable différence de composition chimique. Dans les objets en fonte, on doit avoir égard à la position des moules, à la différence de température du métal liquide,

et enfin aux circonstances qui accompagnent le refroidissement. Il s'ensuit qu'il est extrêmement difficile de déterminer la résistance absolue du fer considérée dans ses trois états différens, et de faire concorder les résultats des expériences.

Il n'existe point de corps parfaitement roides. Tous s'allongent plus ou moins avant de se rompre. Le premier effet de la force employée pour produire la rupture, consistera donc à étendre la barre, et la quantité dont le fer s'alonge sera proportionnelle à la puissance employée. Il existe une certaine limite où il ne reprend plus sa longueur primitive, lorsque la puissance a cessé d'agir. Si l'on admet que la cohésion du métal n'est pas sensiblement altérée jusqu'à cette limite et qu'elle commence seulement à l'être lorsqu'il a perdu son élasticité, les expériences sur l'extensibilité du fer seront de la plus haute importance pour son emploi, puisqu'elles indiqueront les bornes qu'on ne doit point dépasser, en chargeant les barres.

L'extension qui précède toujours la rupture, jette la plus grande incertitude sur la détermination de la résistance du fer. Le chiffre donné par l'expérience n'est donc pas celui qui convient à la grosseur de la barre employée; mais il se rapporte à la grosseur que la barre avait immédiatement avant de se rompre. Si cette puissance était rapportée à la grosseur primitive de la barre, le résultat indiquerait une trop faible résistance. C'est pour cette raison qu'on a fait aussi des essais sur des fils de fer qui avaient déjà éprouvé un alongement.

On fabrique le fil de fer par des procédés particuliers, en donnant au métal des recuits après l'avoir étiré de certaines quantités. D'un autre côté, dans la préparation du fer, sa ténacité *relative* est mise en jeu, par l'action du marteau ou des laminoirs. Enfin, toutes ces opérations se passent à des températures très-élevées, qui faci-

litent le déplacement des molécules ; de sorte qu'il n'est pas étonnant que la résistance absolue d'une même espèce de fer à l'état de fil soit plus grande qu'elle ne le serait pour de plus fortes dimensions. On voit donc qu'en général la résistance d'une même espèce de métal doit varier avec la grosseur des barres.

Ajoutons encore que la détermination de la résistance absolue devient aussi très-incertaine par la manière d'opérer ; parce que les puissances employées agissent toujours sur des appareils intermédiaires assez compliqués. En admettant même qu'on parvienne à calculer avec précision leurs momens, on ne parvient pas à faire avec une exactitude rigoureuse les corrections relatives au frottement, au ployement des léviers, au balancement et à l'ébranlement occasionné par les augmentations successives des charges.

72. D'après les expériences de M. Tredgold, la résistance du bon fer d'Angleterre serait telle qu'une barre carrée sollicitée par un poids évalué à $12^k,48$ par millim. carré de la section transversale, ne subirait point de changement notable dans la texture ; et que l'alongement éprouvé serait de $\frac{1}{1400}$ ou de 0,000714 de la longueur primitive.

M. Duleau admet que le fer s'étend de 0,0001 si un poids de 2^k par millimètre carré de la section transversale, tire la barre dans le sens de sa longueur. Il s'ensuit que $12^k,48$ produiront un alongement de 0,00062, ce résultat est peu différent du premier. L'accroissement de longueur serait de 0,0003 si le poids était de 6^k : c'est, d'après cet auteur, la limite dans laquelle le métal conserve son élasticité *.

* On sent que cette limite dépend de la nature du fer, et qu'il ne peut être question ici que d'une approximation, d'une règle de prudence. M. Duleau cite lui-même des exemples de bons fers qui avaient éprouvé un alongement de 0,0009 et même de 0,0012, sans que leur élasticité fût détruite. Peut-être devrait-on reculer cette limite pour les fers reconnus de bonne qualité : on serait plus d'accord avec la pratique. Tredgold l'a fixée au double, d'après ses propres expériences. Le T.

Au reste on ne peut supposer les alongemens proportionnels aux charges que pour de faibles poids. Ils suivraient une loi progressive plus rapide, si le fer était soumis à de fortes tractions. Pour observer sur une grosse barre les alongemens correspondans à des tensions considérables, M. Telford prit un cylindre de fer forgé qui avait 304,76^{mil} de longueur, 50,79^{mil} de diamètre et dont la section transversale était par conséquentde 2025,33^{mil} carrés. Ce cylindre fut chargé de la manière suivante.

POIDS ENTIERS en tonneaux.	POIDS par millim. carré de la section en kilog.	EXTENSION.	OBSERVATIONS.
tonneaux	kilog.		
45	22,54	0,0083	La barre se retira de 0,0017 après qu'on eut enlevé les poids ; de sorte qu'elle conserva un alongement de 0,0066 (à peu près une ligne par pied).
50	25,04	0,0104	Même effet.
55	27,55	0,0208	*Id.*
60	30,05	0,0216	*Id.*
70	35,06	0,0312	La barre ne se retira plus après que les poids furent enlevés.
75	37,57	0,045	
80,1	40,12	0,062	Le diamètre avait diminué de 0,218 millimètres.
85	42,58	0,072	
90	45,08	0,084	
95	47,58	0,112	
100	50,09	0,183	La barre se rompit et le diamètre avait été diminué d'un quart.

A la première de ces expériences, l'alongement s'est déjà trouvé de 0,0083 pour une charge qui n'était pas encore le double de celle qui n'avait produit à M. Trédgold qu'une

extension de 0,000714. L'alongement du n° 1 aurait dû être, d'après cet auteur, tout au plus de 0,001428, et il s'est trouvé 6 fois plus fort. Au reste les alongemens ont suivi une marche assez régulière, ils étaient à peu de chose près proportionnels aux charges, dans les quatre premières opérations *.

Pour une deuxième suite d'expériences, M. Telford prit une barre carrée de 25,3967 millimètres d'épaisseur (1 pouce anglais), et de 304,762 millim. de longueur (1 pied anglais), qui fut chargée ainsi qu'il suit :

POIDS ENTIERS en tonneaux.	POIDS par millimètre carré de la section.	EXTENSION.	EXTENSION en pouces anglais.
tonneaux.	kilog.		pouces anglais.
18	28,32	0,0208	1/4
21	33,04	0,0416	1/2
23	36,19	0,0620	3/4
25	39,34	0,0840	1
27	42,48	0,1875	2 1/4
29	45,63	0,1975	2 3/8

Les expériences les plus intéressantes sur la ténacité absolue et les rapports d'alongement *du fil de fer* sont dues à MM. Dufour et Seguin. Ils ont trouvé moins d'extensibilité dans les fils minces et non recuits, que dans les gros fils et dans ceux qui avaient été recuits. Ils remarquèrent aussi que l'alongement ne commence

* Ni M. Duleau ni M. Tredgold n'ont supposé que les alongemens continueraient de suivre les mêmes lois au-delà d'une certaine limite fixée pour les charges, par l'un à 6^k et par l'autre à $12^k,48$. Il est donc tout naturel que les alongemens se soient trouvés plus forts qu'ils ne seraient annoncés par leurs formules, qui ne peuvent s'appliquer à de si fortes charges. Le T.

qu'aux deux tiers de la charge qui détermine la rupture: à la moitié de cette charge il paraît presque nul; il est même très-petit entre les $\frac{2}{3}$ et les $\frac{3}{4}$; enfin au $0{,}9^{me}$ de ce poids, il a été trouvé de $\frac{1}{200}$ de la longueur primitive. Si les augmentations de poids se font d'une manière presqu'insensible, le fer s'étire plus qu'il ne le ferait; si ces augmentations étaient plus brusques.

Un fil chargé de 0,9 du maximum et laissé en cet état d'abord 16 et ensuite 20 heures, ne présenta point de changement ni dans la ténacité absolue ni dans l'extension qu'il devait prendre en vertu de ce poids, comme s'il n'eut supporté la charge que pendant peu de minutes. Un fil déjà alongé, et près de se rompre, ne s'étire presque plus, lorsqu'il est chargé de nouveau; le poids qu'il supporte alors ne diffère guère de celui qui l'a fait rompre la première fois.

L'alongement des fils de fer recuits est très-considérable; il s'élève à 0,15 de leur longueur primitive. Cependant la ténacité absolue du fil non recuit est beaucoup plus forte que celle du fil recuit. Le plus fort alongement de ce dernier est, d'après M. Seguin de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{9}$ et celui du fil non recuit d'environ 5 millièmes de sa longueur primitive; quantité bien petite comparée à l'extension que prennent des barres de fort écarrissage.

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DU FER DUCTILE.

73. Bien que les poids qui font rompre les barres donnent la mesure de la ténacité du fer, on sera conduit pourtant à des résultats très-différens, si l'on rapporte ces poids à la section primitive de la barre, au lieu de les rapporter à la grosseur qu'elle possède au moment de la rupture. Il paraît que le fer de gros échantillon s'alonge plus et présente moins de ténacité que les barres minces, parce que ses grains ou cristaux n'ont pas été si fortement rapprochés par la compression.

Nous allons donner les résultats des principales expériences qui ont été faites sur la ténacité absolu du fer *.

Expériences de MUSSCHENBROEK.

Les barres étaient carrées d'une épaisseur de 2,61 millimètres (0,1 pouce, mesure du Rhin). La section transversale contenait donc 6,84 millim. carrés.

PAYS d'où proviennent les fers.	POIDS qui ont déterminé la rupture, évalués par millimètre carré de la section.
Ronda en Andalousie. .	54,786
id.	54,786
Fer de Suède.	59,580
id.	52,047
id.	51,362
id.	45,883
Fer d'Osmunde.	51,362
id.	46,568
id.	45,883
Fer d'Allemagne. . . .	62,319
id.	41,089
id.	57,525
id.	47,938
id.	46,568
id.	47,253
id.	45,883
id.	45,883
Fer de Liège	55,471
id.	51,362
id.	41,774
Terme moyen. .	50,266

* Pour rendre ces données plus comparables et plus utiles, nous les avons reduites toutes en poids et mesures métriques. Le T.

Expériences de SOUFFLOT, communiquées par Rondelet.

Les fers étaient tous de France; les barres avaient 0,649678 de longueur ou 2 pieds de roi.

DIMENSIONS des barres en millimètres.			POIDS qui ont fait rompre, évalués par millim. carré.	OBSERVATIONS.
LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	SECTION TRANSV. en nombres ronds.		
millim.	millim.		kil.	
6,01	5,07	30	56,75	La cassure était parfaitement nerveuse. La barre s'était alongée de 0^m,042.
6,01	4,51	27	60,85	Cassure nerveuse.
13,53	5,64	76	39,48	Nerf et un peu de grains.
11,28	5,64	64	37,51	2/3 de nerf et 1/3 de grains.
12,41	6,77	84	32,20	Plus de moitié nerf.
13,53	6,77	92	83,36	Tout nerf.
13,53	6,77	92	41,68	1/3 de grains.
13,53	6,77	92	31,26	Plus de moitié grain.
6,77	4,51	30	58,29	Nerf et un peu de grains.
Diamètre.	6,77	37	89,78 (fer rond)	Tout nerf; la barre s'alongea de 0^m,028.
9,00	9,00	81	17,99	Gros grains.
9,00	9,00	81	23,95	Grain moyen.
9,00	9,00	81	35,11	Grain fin.
9,00	9,00	81	43,28	Les barres qui ont donné ce résultat (moyen terme) étaient étirées d'un fer de grain moyen devenu nerveu par le forgeage.
9,00	9,00	81	62,04	Tout nerf; préparée comme la précédente.
9,00	9,00	81	35,11	La barre provenait de fer à gros grain rendu demi-nerveu par le forgeage.
Terme moyen. .			46,79	
Terme moyen des 10 premières expériences.			53,11 *	

* Il est à remarquer que les six dernières expériences ont été faites avec du mauvais fer à gros grains, que l'auteur avait pris à dessein et qu'il

Expériences de RENNIE.

Les barres étaient carrées, avaient $152^{mill},38$ de longueur, et $4^{mill},3$ d'épaisseur.

Du fer anglais forgé au marteau exigea, pour se rompre, $39^{k},2$ par millim. carré de la section.

Du fer de Suède ne se rompit que sous la charge de $50^{k},3$ par millim. carré de la section.

Expériences de TELFORD.

DIMENSIONS DES BARRES.			AIRE de la section primitive	AIRE de la section réduite par l'allongement.	POIDS qui ont déterminé la rupture par millim. carrés.		ALONGEMENTS des barres.	OBSERVATIONS.
Longueur.	Largeur.	Epaisseur.			de la section primitive	de la section réduite.		
millim.	millim.	millim.	millimètres carrés.	millimèt. carrés.	kilog.	kilog.		
679,3	diamètre.	34,92	958	641	46,15	68,95	0,154	Fer du pays de Galles.
695,2	*id.*	38,09	1140	791	46,98	67,65	0,118	*Id.*
346,3	19,05	19,05	363	232	42,77	66,82	0,706	Fer du Staffordshire.
495,2	27,51	27,51	757	403	43,32	81,35	0,218	*Id.*
304,8	25,4	25,4	645	»	45,63	»	0,198	Fer du pays de Galles.
»	25,4	25,4	645	»	45,63	»	»	Fer de Suède : la barre avait un défaut.
»	25,4	25,4	645	»	45,63	»	»	Vieux fer corroyé.
»	25,4	25,4	645	»	48,78	»	»	Fer du Staffordshire.
»	diamètre.	50,79	2026	825	50,08*	88,90	0,183	Fer ordinaire. Le chargement se fit avec beaucoup de lenteur.

* M. Barlow, qui rapporte ces expériences, fait observer que ces poids sont probablement trop forts, parce qu'ils avaient à vaincre non seulement la résistance du fer, mais aussi les frottemens de la machine employée : c'était une presse hydraulique. Le T.

EXPÉRIENCES DE BROWN.

DIMENSIONS DES BARRES.			AIRE de la section primitive.	AIRE de la section réduite par l'allongement.	POIDS qui ont déterminé la rupture par millim. carrés.		ALONGEMENTS des barres.	OBSERVATIONS.
Longueur.	Largeur.	Epaisseur.			de la section primitive	de la section réduite.		
millim.	millim.	millim.	millimètres carrés.	millimèt. carrés.	kilog.	kilog.		
1066	33,33	33,33	1111	728	37,44	57,10	0,004	Fer de Suède. La cassure était à grains fins, d'une couleur blanche grisâtre. Il n'y eut point de chaleur développée à la rupture.
1066	33,33	33,33	1111	728	36,31	55,42	0,005	Fer de Suède de la barre du n° 1. Les grains étaient fins et entremêlés de quelques fibres. Il n'y eut point de chaleur développée; la couleur était semblable à celle du n° 1.
1066	30,16	30,16	910	494	37,38	68,84	0,071	Fer de Suède d'une autre espèce et très-doux. Cassure fibreuse d'une couleur blanche argentine. La barre s'est fortement échauffée à la rupture.
1066	diamètre.	33,34	873	507	41,97	72,31	0,053	Fer de Russie, marquée CCN. La cassure était unie et nette, comme si le fer eût été coupé à la tranche; on ne voyait ni fibres ni grains.
1066	31,75	31,75	1008	728	38,31	53,08	0,047	Fer du pays de Galles. Il se manifesta beaucoup de chaleur à l'endroit de la rupture. La cassure était fibreuse, mais d'une couleur moins claire que celle des fers de Suède ou de Russie.
1066	28,57	28,57	816	728	38,53*	43,22	»	Fer du pays de Galles. La cassure semblable à celle de l'acier, ne montrait aucune disposition fibreuse.

*. Ces poids sont un peu faibles, parce que la disposition de la machine employée était telle que les frottemens s'ajoutaient aux poids qui ont fait rompre les barres. Le T.

Expériences de M. SEGUIN.

DÉSIGNATION des FERS.	DIMENSIONS.	POIDS qui ont déterminé la rupture par millimètre de la section.	ALONGEMENTS des barres.	OBSERVATIONS.
	millimètres.	kilog.		
Fer de Bourgogne.	32 sur 27	20,23		La cassure se composa de facettes brillantes et régulières d'environ 2 millimètres de côté.
Carillon *id.*	13 sur 13	30,45		La cassure montra un grain fin et régulier.
id. *id.*	10,15 sur 10,15	55,20	0,054	La barre du n° 2 avait été coupée dans le milieu et soudée en sifflet; étirée ensuite à 10,15 on l'a laissé refroidir lentement.
id. *id.*	4,5 sur 4,5	61	0,004	La barre du n° 2 coupée dans le milieu avait été étirée en 5 chaudes faibles, à très-petits coups de marteau; mise aux dimensions de 4, 5 millimètres et refroidie lentement, sans autre recuit.
id. *id.*	13,3 sur 13,3	29,70	0,0025	La barre du n° 2 avait été coupée au milieu soudée bout-à-bout, non étirée et refroidie lentement.
id. *id.*	13,5 sur 13,5	29,70	0,002	La barre du n° 2 avait été chauffée au blanc soudant, et refroidie lentement, sans qu'elle fut étirée.
Ruban *id.*	20,3 sur 1,7	44,70	0,015	Fer très-doux; cassure fibreuse.

Expériences de BRUNEL.

Le fer a été tiré du Iorkshire. Toutes les barres ont été mises sous le marteau aux dimensions indiquées.

DIMENSIONS des BARRES.	POIDS qui ont déterminé la rupture par mill. carr.	DIMENSIONS des BARRES.	POIDS qui ont déterminé la rupture par mill. carr.
millimètres.	kilog.	millimètres.	kilog.
9,52 sur 9,52	46,82	9,52 sur 9,52	48,93
9,52 sur 9,52	50,28	9,52 sur 9,52	48,95
9,52 sur 9,52	53,72	9,52 sur 9,52	50,13
9,52 sur 9,52	54,37	9,52 sur 9,52	46,51
9,52 sur 9,52	44,31	9,52 sur 9,52	49,74
9,52 sur 9,52	44,31	9,52 sur 9,52	48,24
9,52 sur 9,52	49,66	12,7 sur 12,7	48,77
9,52 sur 9,52	50,46	12,7 sur 12,7	48,90
9,52 sur 9,52	44,19	12,7 sur 12,7	49,68
9,52 sur 9,52	55,18	12,7 sur 12,7	50,68
9,52 sur 9,52	57,27	12,7 sur 12,7	51,46
9,52 sur 9,52	50,53	12,7 sur 12,7	47,16
9,52 sur 9,52	52,13		
		Terme moyen.	49,70

74. Il résulte des expériences que nous venons de rapporter, que la ténacité absolue du fer ne peut s'exprimer d'une manière rigoureuse par un chiffre; elle varie avec les propriétés chimiques du métal, avec son traitement dans le feu, et plus encore avec la compression que ses parties ont éprouvées, par conséquent avec les dimensions et la forme des barres. Le fer rond doit donc être plus résistant que le fer carré, à égalité d'air de la section transversale, et le fer plat doit à son tour offrir plus de résistance que le fer rond. On approchera de la vérité, si l'on fixe la ténacité du fer de la manière suivante :

En barres carrées de 26^{mil}	40^{k} par millimètre carré.
En barres carrées de 13	50 par *id.*
En barres carrées de 6,5	60 à 68 par *id.*

75. Le fer en fil d'archal ayant subi une très-forte compression, doit posséder une ténacité beaucoup plus grande que celle du fer en barres; c'est ce que prouvent les expériences de MM. Dufour et Séguin, qui ont essayé des fils supportant jusqu'à 89 kilog. par millimètre carré avant de se rompre. Ces mêmes expériences prouvent aussi que le fil recuit ne montre guère que la moitié de la ténacité du fil non recuit.

DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DE L'ACIER.

76. On a fait très-peu d'expériences sur la résistance absolue de l'acier, elle est d'autant plus difficile à déterminer que les aciers montrent de très-grandes différences dans leur dureté, leur degré de trempe, et toutes leurs autres propriétés.

EXPÉRIENCES DE MUSSENSCHENBROCK.

Les barres soumises aux expériences avaient 2,6 millimètres d'épaisseur et de largeur.

DÉSIGNATION DES ACIERS.	POIDS qui ont déterminé la rupture, évalués par millim. carrés.
	kilog.
Acier ordinaire, non trempé	73,96
Acier de qualité moyenne, non trempé . . .	84,92
Acier très-bon, non trempé.	81,49
Acier très-bon, trempé et non recuit	76,70
Acier très-bon, trempé et faiblement recuit.	102,72
Acier très-bon, trempé et plus fortement recuit.	92,45

Ainsi la ténacité absolue de l'acier serait une fois et demie aussi grande que celle du fer. La trempe diminue la résistance de l'acier, ce qui est d'accord avec les expériences de Réaumur; mais le recuit l'augmente fortement et en proportion d'autant plus grande qu'il a été moins intense.

Expériences de RENNIE.

Il est probable que les barres n'étaient pas trempées (l'auteur se tait sur cet objet); elles avaient 152 mil. de longueur, $6^{mil},35$ de largeur et autant d'épaisseur.

DÉSIGNATION DES ACIERS.	POIDS qui ont déterminé la rupture, évalués par millim. carrés.
	kilog.
Acier fondu, étiré sous le marteau	93,70
Acier de cémentation, étiré sous le marteau.	92,93
Acier de forge, étiré.	89,07

Ces expériences prouvent, comme les précédentes, que la ténacité de l'acier est bien plus grande que celle du fer ductile; et qu'elle s'accroît aussi à mesure qu'on diminue les dimensions des barres.

DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DE LA FONTE.

77. L'influence que la compression exerce sur la ténacité du métal, doit être bien moins forte pour la fonte que pour le fer ductile; et l'alongement qu'elle éprouve avant la rupture est aussi moins grand. De sorte qu'il serait plus facile d'en déterminer la résistance absolue, si une autre circonstance ne venait augmenter les difficultés. Le fer cru est toujours un composé de deux métaux au moins

(de fer et de carbone), dont l'état de combinaison dépend de la température qui a régné pendant la fusion ainsi que de la lenteur du refroidissement. Dans la section transversale de la fonte grise, on trouvera donc une foule de composés différens, en partant du centre vers la surface. Si la fonte était parfaitement blanche, on pourrait admettre sans erreur que sa ténacité serait la même, soit en petites soit en grosses barres. Quant à la fonte grise, elle se comportera, sous ce rapport, d'une manière directement opposée à celle du fer forgé, c'est-à-dire, qu'en grosses barres elle offrira plus de résistance qu'en barres minces. Attendu que ces dernières se changent par le refroidissement en une espèce de fonte blanche, en général moins résistante que la fonte grise.

D'autres causes contribuent encore à jeter de l'incertitude sur les résultats: ce sont les soufflures qui se forment par le développement des gaz, ainsi que les cristalisations qu'on découvre fréquemment dans l'épaisseur des objets coulés.

78. M. Tredgold pense que la fonte peut supporter, sans se détériorer, un poids de $10^{k},73$ par millimètre carré, et qu'elle s'étend alors de 0,00083 de sa longueur.

M. Brown rompit, par un poids de $11,520^{k}$, une barre carrée de fonte grise ayant $31^{mil},75$ d'épaisseur. La ténacité absolue de cette barre serait donc de $11^{k},44$ par millimètre carré.

M. Rennie employa, pour deux expériences qu'il a faites, des barres carrées qui n'avaient que 6,35 millimètres d'épaisseur; ce qui devait augmenter les chances d'erreurs (77). Il a négligé en outre d'indiquer la couleur du fer cru. L'une des barres avait été coulée debout et l'autre couchée. La première supporta un poids de 552 kilogrammes, la deuxième fut déjà rompue par $528^{k},50$. Le surcroît de pression que la fonte éprouve à l'état liquide, produit

donc un effet analogue à celui du marteau sur les métaux ductiles. D'après ces données, la rupture ne s'effectuerait que sous un poids de $13^{k},10$ par millimètre carré pour les barres dont le moule était horizontal, et de $13^{k},70$ pour les barres coulées debout. Ces résultats paraissent très-forts pour la fonte de première fusion.

Une série d'expériences a été faite avec la fonte de Saynerhütte près de Coblentz. Cette fonte tirée immédiatement du haut fourneau, lorsqu'il était en bonne allure, était produite par des hydrates compactes et obtenue au charbon de bois. Les barres avaient reçu au tour un diamètre de $67^{mil},38$. La moyenne de 12 expériences était de 12,88 kilogrammes par millimètre carré, nécessaires pour déterminer la rupture des barres. L'appareil qui a servi pour ces expériences était tel qu'un kilog. mis sur le plateau produisait un effet de 1365 kilog. Mais le frottement n'est pas entré dans ces calculs, de sorte que le chiffre de $12^{k},88$ pourrait par cette raison être un peu diminué. D'un autre côté, il y eut une barre défectueuse qui céda au faible poids de $8^{k},58$. Si des 12 expériences on voulait retrancher ce résultat, la moyenne fournie par les 11 autres serait $13^{k},16$ par millimètre carré.

Des essais faits avec cette fonte, à l'usine même de Saynerhütte, sur des barres de 25 millimètres de diamètre, ont présenté de si fortes différences, que les résultats ont varié entre $9^{k},58$ et $15^{k},43$ par millimètre carré de la section transversale.

79. Ces expériences ne peuvent donc servir à faire connaître exactement la ténacité du fer cru; mais on peut en inférer que la fonte qui ne cède qu'au poids de $13^{k},60$ à $13^{k},70$ par centimètre carré de la section transversale, doit être rangée parmi les plus tenaces. Il existe des fontes mêlées qui, sous ce rapport, valent les fontes parfaitement grises.

On n'a pas fait d'expériences sur la ténacité absolue de la fonte blanche. Elle est en tout cas bien inférieure à celle de la fonte grise. Il est prudent de ne pas employer, pour des objets qui doivent offrir de la résistance, du fer cru un peu dur, parce qu'il contient toujours de la fonte blanche.

DE LA TÉNACITÉ RELATIVE DU FER.

80. La ténacité relative d'un corps parfaitement roide et homogène, ne pourrait être vaincue par aucun effort, si la puissance agissait exactement dans le plan de tension et de compression. Toutefois chaque corps finit par céder, parce que ses parties manquent plus ou moins d'homogénéité. Il ploie, lorsque la proportion de la longueur à son équarrissage est très-grande; dans le cas contraire, il s'aplatit. Ce dernier effet se manifeste de deux manières différentes: dans l'un des cas, les parties du corps se déplacent, sans que la cohésion soit entièrement détruite; dans l'autre, le corps s'écrase réellement, et se laisse diviser alors avec la plus grande facilité. L'un est une suite de la malléabilité, l'autre de l'aigreur; voilà ce qui fait voir que la ténacité absolue et la ténacité relative ne sont pas en rapport entre elles, et que certaines substances peuvent être dépourvues de l'une et posséder l'autre à un très-haut degré.

MM. Tredgold et Duleau admettent qu'il faut un même degré de force et pour comprimer un corps et pour l'allonger d'une quantité donnée. Il est sous-entendu que la puissance employée ne doit pas être si forte qu'elle puisse altérer la texture et l'élasticité du métal. Ainsi, d'après M. Duleau, le maximum de cette force serait de 6 kilog. et la variation dans la longueur de la barre de 0,0003. D'après M. Tredgold, elle serait de $12^{k},48$ et l'alongement ou le raccourcissement de 0,000714; quant à la fonte,

elle s'alongerait ou se raccourcirait de 0,0008306, si la puissance employée était de 10^k,79 par millim. carré.

Les expériences de M. Pictet prouvent que le raccourcissement d'une barre de fonte n'est pas en proportion exacte avec la puissance comprimante, et qu'il est un peu plus fort que le calcul ne l'annonce. Elles prouvent en outre que le raccourcissement se manifeste déjà pour des poids très-faibles, et qu'il est une fois et demi aussi grand qu'il a été indiqué par M. Duleau. Au reste, ces expériences n'ont été faites que pour de très-faibles charges. Une barre de fer comprimée de 0,000022 de sa longueur primitive, par un poids de 126 kil., resta raccourcie de 0,0000023 : résultat qui n'est pas d'accord avec les données de M. Tredgold, ni avec celles de M. Duleau.

81. Rondelet se borne à indiquer le point où le fer ductile commence à se comprimer, sans donner le rapport de la hauteur primitive des cubes à leur raccourcissement. Voici le résultat de ses expériences.

DIMENSIONS DES CUBES ET CYLINDRES de fer ductile.		millim.	CHARGES qui ont fait céder les barres, évaluées par millimètre carré. kilog.
Cube de.		13,50	48,77
id.		18,00	49,06
id.		23,69	49,92
id.		27,05	49,25
Cylindre	Hauteur.	27,07	50,02
	Diamètre	27,07	
Cylindre	Diamètre	18,05	49,54
	Hauteur.	18,05	
Cylindre	Diamètre	13,53	49,06
	Hauteur.	13,53	

82. M. Rennie n'a pas indiqué non plus les différentes circonstances de ses essais. Les cubes ou prismes qu'il a soumis à l'expérience, ont été pris du milieu d'une barre de fer cru et réduits ensuite à des dimensions exactes. La fonte était grise.

DIMENSIONS des BARRES DE FONTE.	PESANTEUR SPÉCIFIQUE.	POIDS nécessaires pour écraser, évalués par millimèt. carré de la surface.	OBSERVATIONS.
millimètres.		kilogr.	
Cube de 3,17	7,033	65,27	Pris d'une même barre.
Id. 3,17		63,56	
Id. 3,17		65,00	
Long. et larg., 3,17; haut. 9,52	6,977	84,23	Pris d'une autre barre.
Id. *id.* 9,52		103,69	
Id. *id.* 9,52		106,07	Pris d'une même barre.
Id. *id.* 12,70		90,00	
Id. *id.* 15,87		63,16	
Id. *id.* 19,05		78,24	
Id. *id.* 22,22		71,55	
Id. *id.* 25,40		64,59	
Cube de 6,35	6,977	118,54	
Id. 6,35		107,71	
Id. 6,35		111,31	
Id. 6,35		101,24	
Cube de 6,35	7,113	117,09	Pris d'une barre coulée dans une position horisontale.
Id. 6,35		120,32	
Id. 6,35		119,03	
Id. 6,35		97,64	
Id. 6,35	7,074	142,15	Pris d'une barre coulée debout.
Id. 6,35		122,90	
Id. 6,35		124,45	
Id. 6,35		110,49	

Pour les expériences que l'auteur a faites en Silésie, aux forges de Gleiwitz, on a pris des cubes de 6 millim. mis aux dimensions à la lime, et tirés de barres qui avaient 19 millim. d'équarrissage. Les cubes des dernières expériences, ont toutefois été moulés.

Voici les résultats de ces expériences:

DÉSIGNATION de LA FONTE.	POSITION de la barre pendant la coulée.	POIDS nécessaires pour écraser, évalués par millim. carrés de la face du cube.	OBSERVATIONS.
		kil.	
Fonte de première fusion obtenue au coke, très-grise, brillante, et à grains fins.	Horisontale.	100,09	Les cubes furent tous applatis, sans être réduits en poussière ou en petits fragmens; mais les plaques montrèrent peu de cohérence. L'applatissement arriva presque toujours d'une manière subite; du moins la diminution de hauteur ne parut pas sensible avant les dernières charges.
	id.	101,22	
	id.	99,68	
	Verticale.	104,76	
	id.	102,54	
	id.	102,85	
Même fonte, mais refondue dans un cubilot.	Horisontale.	99,27	
	id.	99,52	
	id.	98,27	
	Verticale.	98,76	
	id.	97,78	
	id.	96,75	
Même fonte, mais refondue dans un four à reverbère.	Horisontale.	116,78	
	id.	117,92	
	id.	119,39	
	Verticale.	123,32	
	id.	125,89	
	id.	121,87	
Même fonte puisée au haut fourneau, et versée immédiatement dans des moules cubiques de 6^{mil} de côté. Elle avait blanchi par le réfroidissement.	*id.*	146,64	Les cubes furent écrasés, réduits en poussière et fragmens, avec explosion et dégagement de lumière.
	id.	146,47	
	id.	159,79	
	id.	151,14	
	id.	147,52	

DÉSIGNATION de LA FONTE.	POSITION de la barre pendant la coulée.	POIDS nécessaires pour écraser, évalués par millim. carrés de la face du cube.	OBSERVATIONS.
		kil.	
Même fonte refondue dans le cubilot, et versée dans les moules cubiques de 6mil de côté.	Verticale.	126,12	L'explosion était faible, il n'y eut point de dégagement de lumière. Les fragmens étaient plus larges et moins nombreux qu'ils ne le furent dans les cinq opérations précédentes.
	id.	127,78	
	id.	130,13	
	id.	116,47	
	id.	121,87	
Même fonte refondue dans un four à reverbère, et versée dans des moules cubiques de 6mil de côté.	*id.*	182,64	L'explosion était forte, mais on ne put apercevoir de lumière. Les morceaux montrèrent encore un peu de cohérence et ne furent pas lancés avec autant de force.
	id.	177,94	
	id.	175,74	
	id.	181,24	
	id.	181,87	
Fonte de Königshütte, obtenue au coke, grise claire, s'est blanchie par le réfroidissement. Les cubes avaient 6mil de côté.	Horisontale.	135,55	L'explosion et le dégagement de lumière étaient très-forts. Presque tous les morceaux furent lancés au loin.
	id.	138,14	
	id.	142,16	
	id.	134,82	
	id.	136,76	

Malgré les variations de ces divers résultats, on en conclura du moins que la ténacité relative du fer cru surpasse de beaucoup celle du fer forgé, et que celle de la fonte blanche est la plus grande. C'est donc cette dernière fonte qu'il faudrait employer de préférence pour des colonnes ou piliers qui doivent soutenir des fardeaux.

Ces expériences font voir aussi qu'il y a peu de rapport entre la ténacité absolue et la tenacité relative des corps. Mussenschenbrock pensait que la résistance absolue du chêne pouvait être évaluée à $10^{k},73$ par millimètre carré. Elle serait donc presqu'aussi forte que celle de la fonte de médiocre qualité. D'un autre côté M. Rennie prouve que la résistance relative de la fonte est 23 fois plus forte que celle du chêne.

83. On a fait peu d'expériences sur la ténacité relative de l'acier; mais nous devons penser, eu égard à ses autres propriétés, qu'elle est très-considérable et que la trempe doit encore l'augmenter. L'acier trempé et recuit sera donc le meilleur métal qu'on pourra employer, si l'une et l'autre ténacité sont exigées à un haut degré.

DE LA TÉNACITÉ RESPECTIVE DU FER.

84. Quand on connaît la tenacité absolue d'un corps, on devrait trouver sa ténacité *respective* au moyen du calcul, parce qu'elle n'en est qu'une partie. D'après la théorie, la ténacité respective d'un corps serait comprise entre les limites $0{,}33 \cdot \frac{h}{L} V$ et $0{,}5 \frac{h}{L} V$, si V représente la ténacité absolue pour une surface dont la hauteur serait h, si L est la longueur du corps qu'on veut rompre, et qui fixé par l'une de ses extrémités est chargé à l'autre; mais l'expérience n'est point d'accord avec ces données théoriques, parce que l'une des parties du corps s'étend et que l'autre se comprime avant la rupture: le corps résiste donc en vertu de sa ténacité relative et de sa ténacité absolue. La première prise isolément ne peut donc suffire pour déterminer la ténacité respective. Toutefois il est très-important dans les arts de connaître pour chaque cas particulier la grandeur de la flèche de courbure, et de savoir jusqu'à quel point on peut charger un corps sans craindre que sa résistance ne soit vaincue *.

* On sait qu'avec les formules $0{,}5 \frac{h}{L} V$ et $0{,}33 \frac{h}{L} V$ (A) on ne peut calculer exactement la ténacité respective des corps, leur ténacité absolue V étant donnée et indiquant le poids par unité de mesure de la section transversale, qui suspendu à l'une des extrémités de la barre la ferait *rompre*. La première de ces formules ne conviendrait que pour des corps parfaitement roides et la deuxième pour des corps qui sont extensibles et non compressibles; mais

85. D'après M. Duleau, la flèche que prendrait une barre de fer soutenue par ses deux extrémités et chargée au milieu, serait proportonnelle aux poids si toutefois on ne dépassait pas une certaine limite. Pour des dimensions différentes et des charges égales, les flèches seraient en raison directe des cubes des longueurs et en raison inverse des cubes des épaisseurs multipliées par les largeurs.

---

tous les corps sont à la fois l'un et l'autre. Pour des corps parfaitement élastiques, la formule serait $0,1666\frac{h}{L}V$ (B): quand on veut passer de la charge agissant dans le sens de la longueur à la charge transversale, qui produirait la même tension, on ne peut le faire avec exactitude que dnas les limites de l'élasticité des corps. C'est-à-dire que V ne doit représenter que des valeurs qui ne détruisent pas la force élastique. Si donc V indique la plus forte charge que le corps peut supporter sans éprouver aucune altération, l'expression $0,1666\frac{h}{L}V$ donne la plus forte charge transversale par unité de surface de la section. Si le poids suspendu transversalement à l'une des extrémités de la barre est W, que la largeur de la barre soit l, l'épaisseur h et la longueur L, l'équation est:

$$\frac{W}{hl}=0,1666\frac{h}{L}V \qquad (C)$$

Si au contraire le poids W est suspendu au milieu de la barre, l'équation est:

$$\frac{W}{hl}=0,666\frac{h}{L}V \qquad (D)$$

Il est à remarquer que malgré leur inexactitude les équations

$$\frac{W}{hl}=0,5\frac{h}{L}V, \quad \text{et} \quad \frac{W}{hl}=0,33\frac{h}{L}V \qquad (A)$$

donnent des valeurs qui approchent de la vérité, plus que celles qui seraient tirées de l'équat. $\frac{W}{hl}=0,166\frac{h}{L}V$ lorsque les charges sont augmentées jusqu'à la rupture de la pièce. Les formules (A) appliquées pour le cas où le poids W est suspendu transversalement au milieu de la barre, deviendraient

$$\frac{W}{hl}=2\frac{h}{L}V, \quad \text{et} \frac{W}{hl}=1,33\frac{h}{l}V. \qquad \text{Le T.}$$

Si l'on désigne
par f la flèche,
par L la longueur de la barre,
par l sa largeur,
par e son épaisseur,
et si f' est la flèche de courbure d'une autre barre dont les dimensions seraient L', l', e', on aurait:

$$f : f' :: \frac{L^3}{le^3} \cdot \frac{L'^3}{l'e'^3},$$

par conséquent,

$$f' = \frac{fL'^3le^3}{L^3l'e'^3}. \qquad (A)$$

Si les dimensions des barres sont exprimées en millimètres et la charge C en kilog., on aura, d'après cet auteur,

$$f = 0{,}0000125\,\frac{C \times L^3}{le^3}, \qquad (B)$$

et pour la plus grande flèche qu'une barre puisse recevoir sans préjudice pour son élasticité:

$$F = 0{,}00005 \times \frac{L^2}{e}, \qquad (C)$$

substituant cette valeur dans (B), on obtiendra l'expression de la plus forte charge qu'une barre puisse supporter sans que son élasticité soit altérée. On aura donc:

$$C = 4\,\frac{le^2}{L}.$$

Pour des barres rondes dont le diamètre est représenté par d, on aura:

$$f = 0{,}00002122 \times \frac{CL^3}{d^4}.$$

La flèche produite par le simple poids d'une barre, ou bien par une charge également répartie sur toute sa longueur, n'est que les $\frac{5}{8}$ de la flèche que produirait un semblable poids suspendu au milieu de la barre.

Si une barre horizontale est fixée par l'une de ses extrémités et chargée de poids à l'autre extrémité, l'abaissement de ce bout sera aussi grand que la flèche qui aurait lieu au milieu d'une barre de même largeur, de même épaisseur et de longueur double, soutenue à ses deux extrémités et chargée d'un poids double.

86. On doit à Téxier de Norbeck, plusieurs expériences sur la ténacité respective du fer forgé. Les barres avaient 54 millimètres de longueur et différens équarrissages; elles étaient placées sur des supports espacés de $40^{mil},6$; les poids se posaient sur un plateau suspendu au milieu des barres; leurs extrémités étaient libres.

LARGEUR de la barre.	ÉPAISSEUR de la barre.	CHARGE qui détermina la rupture.
mil.	mil.	kilog.
1,17	2,25	103,28
2,25	2,25	284,40
4,51	3,33	896,28
4,51	4,51	1092,08
6,77	3,33	1434,74
6,77	6,77	2022,15
9,02	6,77	2903,26
9,02	9,02	5671,90

Ces essais sont en trop petit nombre pour qu'on puisse en tirer des conséquences satisfaisantes.

87. M. Tredgold admet que la flèche de courbure de la barre peut s'élever au plus à $\frac{1}{40}$ de pouce par pied, ou bien à 0,00283, sans qu'il en résulte aucune altération dans le métal. Cette donnée dépend de l'extension que la fonte peut prendre dans les limites de l'élasticité et qu'il trouve de 0,00083, la charge étant de $10^{k},73$ par millimètre carré

de la section. Il est douteux que le fer cru possède une si grande ténacité.

Cet auteur trouve en outre que le poids qui correspond à ce maximum de flèche est donné par l'équation

$$0{,}001 \times L^2 \times W = BD^3,$$

L étant la longueur de la barre en *pieds anglais*, B la largeur, D l'épaisseur en *pouces anglais*, et 0,001 un coefficient constant. Au moyen de cette équation, Tredgold détermine le maximum de flèche d, en établissant la proportion

$$d : \frac{L}{40} :: W : X = \frac{LW}{40d},$$

et en substituant pour W dans l'équation précédente la valeur de X, il obtient

$$d = \frac{0{,}001 W^3 L}{40 BD^3}.$$

Nous remarquerons que ces deux expressions méritent peu de confiance *.

88. Plusieurs auteurs ont fait des expériences sur la ténacité respective de la fonte; mais aucun n'est parvenu à des résultats certains. Elles peuvent bien servir à apprécier les rapports des résistances que présentent les fontes qui ont été soumises à leurs opérations; mais on ne peut

---

* Il est évident que ce n'est pas pour déterminer la flèche d que Tredgold établit la proportion

$$d : \frac{L}{40} :: W : X = \frac{LW}{40d},$$

et qu'il substitue la valeur de X dans l'équation $0{,}001 L^2 W = BD^3$; puisqu'il suppose, ce qui ne paraît guères admissible, d égal à $\frac{1}{40}$ de pouce par pied. Mais son but est de se procurer une équation dans laquelle entrent son coefficient, les dimensions de la barre, le poids et la flèche de courbure, afin de vérifier ce coefficient au moyen des expériences faites soit par lui-même, soit par d'autres auteurs. Le T.

en déduire des nombres pour l'unité de surface de la section transversale des barres *.

Les essais de Texier de Norbeck n'ont été faits que sur des barres carrées de 6 à 9 millimètres d'épaisseur, et malgré ces faibles dimensions, il trouve des valeurs si grandes, qu'on doit avoir des doutes sur l'exactitude de ses résultats. Ces valeurs ne pourront pas même servir comme rapports; attendu que la ténacité respective de la fonte à celle du fer forgé est, dans un de ses essais, comme 900 : 4131 et dans un autre : : 1775 : 11587. Variations qui sont inadmissibles.

Tredgold a fait ses expériences en fixant l'une des extrémités de la barre, et en chargeant l'extrémité libre. Elles avaient toutes 34^{mil} de largeur, 17^{mil} d'épaisseur et 609^{mil} de longueur entre le support et le point de suspension.

(*a*) Une fonte gris-foncée, de grain fin, très-dense, très-brillante, un peu malléable et très-douce, rompit sous le poids de $83^{k},40$.

(*b*) Une fonte grise un peu plus claire et moins brillante que (*a*) et plus dure à la lime, rompit sous la charge de $78^{k},41$.

(*c*) La fonte différait peu de la première, cependant elle parut un peu plus dure et moins malléable; la cassure était presque semblable à la première. Elle se rompit sous le poids de $69^{k},35$.

(*d*) Fonte obtenue par la fusion de ferrailles. Très-dure et très-aigres, gris-claire, peu brillante, de grains fins; mais non homogènes. Cette fonte se rompit en plusieurs morceaux sous la charge de $76^{k},14$.

(*e*) De la fonte obtenue par la fusion de la première

* La ténacité respective de la fonte ne pourra jamais être évaluée en poids par unité de surface de la section transversale, puisque cette ténacité varie avec l'épaisseur des barres, lors même que le produit de l'épaisseur par la largeur, ou bien l'aire de la section transversale ne changerait pas. Le T.

avec du vieux fer, elle était dure à la lime, céda un peu sous le marteau, mais elle s'émietta facilement, sa couleur était plus claire que celle de (*a*). Sa cassure était dense, plane et d'un grain fin; elle rompit sous la charge de $78^k,87$.

Ces expériences montrent du moins que la fonte la plus grise est aussi la plus résistante. Si par le calcul, et en fesant usage des formules du paragraphe 84 qu'on peut mettre sous la forme de $V=\frac{3LP}{h}$, dans laquelle P exprime la ténacité respective évaluée pour une surface *hl* et L la longueur de la barre, si l'on veut, dis-je, obtenir en chiffres la valeur de V, on trouve pour la fonte qui montra la plus grande ténacité respective, une valeur de 16 kilog. représentant la ténacité absolue par millimètre carré, et dans ces calculs on a pris le plus petit coefficient permis par la théorie, c'est-à-dire $\frac{1}{3}$, ce qui a dû élever le chiffre de la ténacité absolue. Il est donc difficile de concevoir comment M. Trédgold a pu obtenir 32^k14 par millimètre carré de la section *.

---

* Pour faire ces calculs, M. Tredgold s'est servi de l'équation $\frac{W}{hl}=0,1666\frac{h}{L}V$ (C) (voyez la note que nous avons ajoutée au paragraphe 84), au lieu d'employer la formule $\frac{W}{hl}=0,33\frac{h}{L}V$, qui donne des résultats moins faux dans le cas dont il est question. En agissant ainsi, cet auteur a obtenu pour la fonte une ténacité absolue presqu'égale à celle du fer ductile employé sous de gros échantillons, ce qui est évidemment inexacte.

Nous ferons observer au reste que c'est à tort qu'on emploie l'équation $\frac{W}{hl}=0,33\frac{h}{L}V$ indifféremment pour la fonte et pour le fer ductile. En effet, la fonte perd à peine son élasticité sous *la moitié* de la charge qui détermine la rupture; tandis que le fer ductile cesse d'être élastique, d'après M. Duleau, déjà au $\frac{1}{6}$, et d'après M. Tredgold au $\frac{1}{4}$ de la charge qui fait rompre la barre. Il s'ensuit donc que la fonte se rapproche beaucoup plus que le fer des corps parfaitement élastiques. Or, le coef-

Les expériences de MM. Banks, Rondelet, Rennie et Dufour conduisent aussi à des résultats très-incertains.

M. Garneron a employé, pour déterminer la rupture, le moyen ordinaire du levier, fait en fer forgé et agissant tant par son poids que par la charge qu'on y suspendait; mais comme on ne donne ni le poids ni les momens, il s'en suit que les charges sous lesquelles les barres se sont rompues, n'indiquent que les rapports entre les ténacités. Voici les résultats de ces épreuves:

DE PREMIÈRE FUSION, obtenue au coak.

		k
1.	Fonte blanche provenant d'un canon qui avait crevé.	1162
2.	*id.*	1096
3.	Fonte grise d'un haut fourneau du Creusot. .	1605
4.	*id.*	1828
5.	*id.*	2008
6.	*id.*	1771
7.	*id.*	1721
8.	*id.*	1806
9.	*id.*	1632
10.	*id.*	1468
11.	Fonte blanche du même fourneau, lorsqu'il était dérangé.	1028
12.	Fonte grise blanchâtre, la tuyère étant obscure.	1405

ficient constant qui doit servir pour ces derniers est 0,1666. Si donc le coefficient pour le fer était de 0,3333, celui qui conviendrait pour la fonte devrait être compris entre 0,1666 et 0,3333. En partant des connaissances qu'on a déjà sur la ténacité de la fonte, on déterminerait ce coefficient très-facilement par des expériences. Le T.

DE DEUXIÈME FUSION, fondue dans un four à reverbère avec la houille.

		k
13.	Fonte grise (n° 8).	2025
14.	Fonte grise du Périgord, obtenue au charbon de bois	1416
15.	Fonte grise de Franche-Comté.	1655
16.	Fonte grise anglaise.	1378
17.	Fonte grise, moitié Creusot, moitié Franche-Comté.	1379
18.	*id.*	1762
19.	Fonte grise deux parts Creusot, une Franche-Comté.	1954
20.	Fonte grise, trois quarts Creusot, un Franche-Comté.	1687
21.	Fonte grise avec laquelle on a coulé des canons.	2192
22.	*id.*	2343
23.	*id.*	1954
24.	*id.*	1528
25.	*id.*	1478
26.	*id.*	1428
27.	*id.*	1395

89. Des différentes expériences que nous venons de rapporter, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° L'acier légèrement trempé possède la plus grande ténacité, et les aciers qui sont fortement trempés et ceux qui ne le sont pas du tout, offrent moins de résistance que les premiers.

2° La ténacité absolue de l'acier est à celle du fer dans le rapport de 3 à 2.

3° La ténacité du fer forgé est trois fois aussi forte que celle de la fonte.

4. La fonte grise est douée d'une plus grande résistance que la blanche, à peu près dans le rapport de 8 à 5.

5° La ténacité relative de la fonte est plus grande que celle du fer forgé, et celle de la fonte blanche les surpasse toutes. Mais lorsque ce fer cru est écrasé, il se réduit en poussière ou en fragmens.

90. MM. Banks, Rennie, Dunlop et Bramah ont fait aussi des essais sur la résistance que le fer peut opposer à une force de torsion; mais cette résistance n'est qu'une suite de la ténacité absolue du fer; la puissance employée agit alors par l'intermédiaire d'un levier. Il est donc inutile de considérer ici ce genre de résistance séparément.

91. On a souvent comparé la ténacité absolue du fer avec celle des autres métaux; mais les variations entre les nombres obtenus sont si considérables, que cette matière offre encore un vaste champ aux travaux des physiciens. Voici au reste, les résultats des expériences qui ont été faites à ce sujet.

MÉTAUX FONDUS.	MAXIMUM de la ténacité.	MINIMUM de la ténacité.
Fer ductile . .	?	?
Acier	?	17,80
Fonte.	17,80	6,85
Cuivre.	20,54	8,23
Or	13,07	13,70
Argent.	26,71	26,71
Plomb.	1,57	0,60
Étain	4,45	2,16
Zinc.	1,98	1,71
Bismuth. . . .	2,19	1,98
Antimoine. . .	0,71	0,71
MÉTAUX FORGÉS.		
Fer ductile . .	102,72	19,17
Acier	102,72	41,09
Cuivre.	44,51	20,54
Or	23,28	17,12
Argent.	45,19	26,02
Plomb.	3,72	1,71
Étain	5,13	»
Zinc.	15,75	»

Les nombres indiquent les poids, par millimètre carré de la section transversale, employés pour rompre les barres; mais il faut avouer que ces nombres ont besoin de rectifications.

92. Quand on regarde l'acier comme le fer le plus fort, on paraît se mettre en opposition avec un fait que nous pouvons vérifier tous les jours, en brisant sans effort une barre d'acier trempé. On ne peut s'en rendre raison que par l'aigreur de l'acier et son défaut de flexibilité : l'effet du choc concentré alors sur un seul point ne peut se répartir sur toute la masse de la barre, et doit nécessairement être plus destructif.

Cette espèce d'anomalie n'existe pas pour les fers durs et non flexibles, car ils sont rompus avec autant de facilité par les poids que par les chocs; ils sont à la fois aigres et peu tenaces. Nous avons fait observer déjà qu'il y a entre l'aigreur et la dureté, une relation telle que la première ne peut exister sans la seconde, bien que celle-ci puisse avoir lieu sans l'autre; il s'ensuit qu'on ne doit pas confondre les fers aigres avec les fers tendres, quoique les uns et les autres soient durs et cassans par le choc. Les effets de l'aigreur peuvent d'ailleurs être corrigés, adoucis par des chaudes rouges; tandis que la fragilité du fer tendre ne comporte aucun remède, lors même qu'il serait débarrassé d'une partie de son aigreur*.

93. Le bon acier est éminemment élastique; cette qua-

* L'aigreur est donc une espèce de fragilité qui n'a lieu que par le choc et qui ne nuit point à la résistance d'un corps éprouvée par des poids ou par une pression : sans être en opposition avec la ténacité, elle peut cependant rendre les aciers intraitables dans le travail et impropres à presque tous les usages. Réaumur, dans ses mémoires, désigne la qualité opposée à l'aigreur par le mot *corps*, qu'il ne faut jamais confondre avec force ou résistance. L'acier est plus fort que le fer, et celui-ci a plus de corps que l'acier. Le T.

lité prouve en quelque sorte sa force et sa *dureté ;* mais il acquiert aussi plus d'aigreur à mesure que sa dureté augmente, ce qui paraîtrait absurde, si l'on oubliait que l'aigreur est indépendante de la ténacité ou de la modification dont il s'agit ici, l'élasticité. Il en résulte néanmoins que l'acier très-dur peut devenir impropre aux usages qui l'exposeraient à des chocs ou à des secousses.

Le fer mou peut posséder une grande flexibilité, sans être élastique ; il appartient alors à la classe des fers forts. S'il est peu flexible, on le range parmi les fers cassans et non aigres.

Le fer dur est souvent très-flexible et doué d'un peu d'élasticité ; dans ce cas, il mérite d'occuper le premier rang parmi les fers forts. S'il manque de flexibilité et si ce défaut provient de l'aigreur, une chaude le fait disparaître ; si au contraire, il est inhérent à la nature du métal, le fer est cassant et aigre : les fers tendres ou mal affinés sont dans ce cas.

La fonte grise paraît être un peu flexible et élastique ; mais la fonte blanche, dépourvue de toute espèce de flexibilité, est extrêmement aigre.

94. Le fer fort et dur jouit d'un haut degré de ductilité ; il n'est surpassé que par le meilleur acier. Le fer tendre et le fer cassant et mou en sont faiblement doués ; tandis que le fer fort et mou, s'il ne possède pas cette qualité à un degré plus élevé que le fer fort et dur, peut du moins l'égaler sous ce rapport.

Le fer fort et dur s'aigrit davantage par le travail, on est obligé de l'étirer avec lenteur et de le recuire plus souvent. La fabrication du fil de fer et du fil d'acier, est basée sur la ductilité de ce métal. Le fer le plus fort peut s'étirer aussi en fils les plus minces, quelle que soit du reste sa dureté ; en supposant toujours qu'on le recuise assez souvent et qu'on le travaille d'une manière convenable à sa nature.

La fonte grise possède un peu de ductilité ; la fonte blanche, au contraire, en paraît totalement dépourvue.

95. Nous manquons d'épreuves comparatives sur la malléabilité des fers. On prétend que le fer fort et mou surpasse sous ce rapport le fer fort et dur. Une chose incontestable, c'est que celui-ci s'aigrit davantage ; qu'on est forcé par conséquent de le chauffer, de le recuire plus souvent, et cette opération a ses inconvéniens, comme nous le verrons par la suite ; le premier, au contraire, exigeant moins de précautions, est naturellement préféré à l'autre *.

La fonte grise jouit d'un peu de malléabilité ; la fonte blanche n'en laisse pas apercevior le moindre signe.

C'est sur cette propriété du fer et de l'acier, que repose la fabrication des tôles.

DU MAGNÉTISME DU FER.

96. On a cru long-temps que le fer était le seul métal attirable à l'aimant et susceptible d'acquérir la vertu magnétique. Depuis on a découvert la même propriété dans le nikel, le cobalt et le chrome. Les autres minéraux qui ne paraissent pas en jouir, doivent être regardés comme conducteurs du fluide magnétique, ou comme des substances dont les pôles ne peuvent ressortir d'une manière sensible.

L'effet du magnétisme ne pouvant avoir lieu qu'en vertu de la polarité, il s'ensuit que chaque corps doué de pôles magnétiques, devrait attirer le fer, puisque cette attraction n'est qu'une suite de la division du fluide magnétique dans ce métal, et qu'au moment où il est attiré, il devient aimant lui-même, c'est-à-dire, que ses pôles se for-

* Cette observation s'applique plus particulièrement à la fabrication du fil de fer. Le T.

ment, et que chacun d'eux est sollicité par le pôle opposé de l'aimant. Mais il existe des corps qui sont magnétiques sans attirer le fer; on doit donc penser que leurs pôles ne ressortent pas avec assez de force pour former ceux du fer qu'on leur présente, et que leur effet ne devient sensible que sur des substances douées déjà de la polarité, sur l'aiguille aimantée, par exemple : des minérais qui attirent le fer et sont attirés eux-mêmes par l'aimant, doivent toujours manifester des pôles; si cela n'a pas lieu, il ne faut l'attribuer qu'à la difficulté de les mettre dans une position convenable.

97. M. Oersted fit, en 1820, l'intéressante découverte que dans les piles galvaniques il existe un rapport invariable entre la polarisation électrique et la polarisation magnétique. On apprit alors à connaître le magnétisme sous un aspect tout nouveau. On a pu se convaincre pleinement que le fer, le nikel et le cobalt ne deviennent aimantaires que par le partage du fluide; et qu'on peut donner un haut degré de magnétisme aux corps, surtout aux métaux, en excitant leurs propriétés électriques. Les recherches de M. Seebeck nous ont appris que le pôle nord d'une pile galvanique fermée est tournée vers le nord et le pôle opposé vers le sud, lorsque le métal électro-positif est exposé à l'est, et le métal électro-négatif à l'ouest.

98. M. Arago a montré d'une manière très-simple que le magnétisme peut être excité par le partage du fluide dans tous les métaux et dans d'autres corps. Les plaçant sous une aiguille aimantée, il remarqua que les oscillations étaient diminuées en nombre et en amptitude, et que la diminution était proportionnée à la vertu magnétique des corps. M. Seebeck a prouvé ensuite: 1° que la grandeur de la masse du métal prise jusqu'à une certaine limite peut augmenter son action sur l'aiguille, que du reste cette limite n'est pas très-éloignée; 2° que l'effet des mé-

taux sur l'aiguille est en rapport direct avec la distance, et que cet effet n'est pas modifié par l'air, le bois, le verre ou la colle interposés entre les corps et l'aiguille; 3° enfin qu'une certaine élévation de température n'exerce point d'influence sensible sur l'action aimantaire des plaques métalliques. La faculté de diminuer les oscillations de l'aiguille est donc en proportion directe avec la propriété des corps de devenir magnétiques par le partage du fluide. Les expériences de M. Seebeck nous donnent à ce sujet la série suivante :

DÉSIGNATION des plaques au-dessus desquelles l'aiguille était suspendue.	NOMBRE des oscillations.
Marbre	116
Mercure	112
Bismuth	106
Platine	94
Antimoine	90
Plomb	89
Or	89
Zinc	71
Étain	68
Laiton	62
Cuivre	62
Argent	55
Fer	6

Cet auteur fait observer que si l'on a égard à l'épaisseur des plaques, on descendra le rang du platine et celui de l'or. — Ainsi tous les corps deviennent aimantaires par la présence d'un aimant, comme ils deviennent lumineux, exposés à la lumière; mais à des degrés bien différens.

99. M. Seebeck a fait en outre une découverte très-im-

portante: tous les métaux pris deux à deux deviennent aimantaires, si aux extrémités où ils se touchent, ils acquièrent des degrés de température différens; les uns, lorsque le changement de température est très-petit, les autres par une forte chaleur ou un refroidissement considérable. De plus des métaux de même espèce sont susceptibles d'acquérir le magnétisme par le contact aidé de la différence de température, tout aussi bien que des métaux hétérogènes.

Il résulte des observations délicates de M. Seebeck que les métaux devenus magnétiques par la différence de température, étant classés d'après l'intensité de leur action sur l'aiguille, forment une série qui n'a aucun rapport avec leurs propriétés chimiques ou électriques, leur pesanteur spécifique, leur dureté, leur ténacité, etc. L'ordre adopté pour cette série est tel, que chaque métal mis en contact avec celui qui le suit, et porté à un plus haut degré de température, produit *une déclinaison vers l'ouest*, et une déclinaison *vers l'est*, si chauffé aussi il est mis en contact avec le métal qui le précède. Le premier rang est occupé par le bismuth, métal le plus oriental et le dernier par le tellur. On a classé dans la même série plusieurs minérais et un certain nombre d'alliages.

Les métaux ductiles rendus aimantaires par une différence de température, ne varient guère dans leur pouvoir magnétique, lorsqu'on les emploie à l'état fondu, ou lorsque par le forgeage ils sont devenus plus denses et plus ténaces. Il n'en est pas ainsi des métaux trempés ou non trempés, de ceux du moins qui sont susceptibles de se durcir par un refroidissement plus ou moins subit. L'acier trempé occupe, dans la série magnétique, un rang plus élevé que l'acier refroidi avec lenteur. La fonte grise est dans le même cas. Le fer forgé, au contraire, présente toujours le même résultat, de quelque manière qu'on ait opéré le refroidissement.

Il paraît, d'après ces expériences, que la *fonte blanche* et probablement aussi l'acier trempé, occupent un rang d'autant plus élevé qu'ils contiennent plus de carbone: tandis que le fer très-doux est en général à un rang très-bas.

On ignore encore le changement qu'une plus ou moins grande teneur en carbone doit produire, dans la série magnétique, sur le rang de la fonte grise et sur celui de l'acier non trempé. Les expériences de M. Seebeck semblent indiquer que ces deux corps occuperont un rang d'autant plus élevé qu'ils contiendront moins de carbone. Cette manière d'être serait donc tout-à-fait opposée à celle de la fonte blanche et à celle de l'acier trempé. Le vootz, par exemple (l'acier des Indes), a été rangé très-bas, même au-dessous du fer ductile.

Dans la série magnétique de M. Seebeck, telle que nous la donnons, les substances mises entre parenthèses occupent avec le métal qui leur est joint, presque le même rang. De toutes les substances métallifères examinées par ce physicien, la galène est la seule qui pourrait être placée au-dessus du bismuth.

Déclinaison orientale:

Bismuth, (bismuth natif, pyrite commune, cobalt, fer magnétique).
Nickel (fer spéculaire, fer météorique, nickel éclatant, antimoine, fonte blanchie dans un four à reverbère).
Cobalt.
Palladium.
Platine pur, (kupfernickel, fonte grise refroidie subitement).
Uran.
Cuivre pur, (fonte contenant 2 à 3 p. % de zinc).
Manganèse.
Titane.
Laiton n° 1, (fonte grise chauffée et refroidie lentement).
Or n° 1, (oxide gris de manganèse).
Cuivre, (métal de cloche).
Laiton n° 2 (fonte lamelleuse, et fonte mêlée).
Platine n° 2.

Mercure.
Plomb.
Étain, (fer natif de kammsdorf, or natif, argent natif).
Platine n° 3, (Frédéric d'or, acier trempé).
Chrome.
Molybdene.
Cuivre n° 2, (or natif, argent en barre de 2 à 11 onces fin).
Rhodium.
Iridium.
Or n° 2, (argent en barres de 12 à 16 onces fin).
Argent, (métal fusible de Darcet).
Zinc (graphite de Borrowdale, fonte lamelleuse, fonte mêlée, flos caverneux, acier chauffé et refroidi lentement).
Cuivre n° 3, (cuivre natif de Sibérie, de Cornouailles et de Saxe).
Tungstene.
Platine n° 4, (platine natif de Santafé, fer natif de Newjersey).
Cadmium.
Acier, (fer natif d'Aix, acier de forge de Styrie raffiné trois fois, acier fondu d'Angleterre, acier de cémentation).
Fer, (fer météorique de Collina de Brianza, pyrite magnétique, wootz, wootz avec 1 p. % de platine, wootz avec 1 p. % de Rhodium.
Arsenic.
Antimoine, (antimoine d'Allemont, pyrite cuivreuse, cuivre panaché).
Tellur, (tellur natif).

100. On donne au fer la vertu magnétique, en le frottant avec un aimant déjà formé, tel qu'un aimant naturel. Il est susceptible aussi de l'acquérir par lui-même et sans aucune communication, si toutefois on peut s'exprimer ainsi, car il n'y a jamais communication du fluide; mais il s'effectue seulement une détermination des pôles, qui se forment avec plus *de lenteur,* lorsque le fer reste abandonné à lui-même, que dans le cas où ils sont provoqués par les pôles opposés d'un aimant: il paraît même que l'aimant naturel n'est point magnétique dans le sein de la terre, et qu'il reçoit cette propriété quand on l'approche de la surface.

Le fer se magnétise étant placé durant un certain temps dans une direction verticale, ou même, d'après Torelli de

Narci, étant incliné à 20° sur l'horizon. Le maximum de cet effet a lieu de 70 à 80°; au-delà de cet angle et jusqu'à la direction verticale, il ne paraît plus s'accroître. On peut présumer du reste, que l'angle qui donne ce *maximum* dépend de la latitude du lieu. Le martelage, le ployement, l'aiguisage, le frottement les commotions électriques favorisent la magnétisation.

101. Les propriétés aimantaires ne sont pas les mêmes pour le fer, l'acier et la fonte. Le fer ductile acquiert la vertu magnétique plus vîte et avec plus d'intensité que l'acier; celui-ci la conserve mieux: il est pour cette raison préféré pour la confection des aiguilles aimantées. La même différence se manifeste entre l'acier non trempé et l'acier trempé. La fonte grise qui devient plus aimantaire que la fonte blanche, est attirée par l'aiguille avec plus de force; mais l'une et l'autre le cèdent sous ce rapport au fer et à l'acier.

Torelli de Narci est parvenu à distinguer l'acier du fer, à l'aide de l'aiguille aimantée. Il a trouvé que les barres *de fer* qui ont acquis le magnétisme par suite d'une position verticale, le perdent aussitôt qu'on les présente à l'aiguille dans une direction horizontale; tandis que les barres *d'acier* qui l'acquièrent avec plus de lenteur, le conservent ensuite dans toutes les positions au même degré de force.

102. Il résulte des expériences intéressantes de M. Barlow qu'aux températures ordinaires la vertu magnétique du fer et celle de l'acier diminuent avec la dureté de ces corps. A la chaleur blanche, ils perdent entièrement leur pouvoir magnétique, et à la chaleur rouge il est le plus fort dans l'espèce qui en possédait le moins à l'état froid.

103. On détruit le magnétisme dans le fer, par sa conversion en limaille, par la chaleur, par un contact prolongé des pôles de même espèce et de même intensité, par de fortes secousses, par des chocs contre des corps durs, enfin par sa combinaison avec des substances étrangères qui

pourtant dans certaines proportions ne font qu'affaiblir ses propriétés magnétiques.

Par exemple, l'oxigène, le carbone, le soufre et le phosphore, en petite quantité, affaiblissent le magnétisme du fer; en forte dose, ils le détruisent.

Le fer peut s'allier à la plupart des métaux en proportion assez grande sans cesser d'être attirable à l'aimant: l'arsenic en neutralise le magnétisme plus fortement que les autres; si cependant il n'est combiné avec le fer que dans le rapport de 2 : 1, l'alliage est encore attirable à l'aimant: un composé de quatre parties d'antimoine et d'une de fer ne l'est plus. Il suffit même, d'après Mushet, qu'on ajoute 21,4 de manganèse à 78,6 de fer pour détruire les effets magnétiques.

C'est au magnétisme qu'on doit l'usage des aiguilles aimantées et la faculté de connaître l'existence du fer dans diverses combinaisons.

DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU FER.

104. Le fer est conducteur de l'électricité comme tous les autres métaux. On l'emploie de préférence pour la construction des paratonnerres à cause de son bas prix. Sous le rapport spécial de ses propriétés électriques, il faudrait le compter parmi les métaux *électro-négatifs*, puisqu'il ne peut se changer en acide; mais dans la pile voltaïque, il suit le zinc dans la série des métaux les plus *électro-positifs*.

DES PROPRIÉTÉS DU FER DANS LES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

105. Parmi tous les métaux, c'est le fer qui a la plus grande capacité pour la chaleur; c'est-à-dire qu'il faut une plus forte dose de calorique libre pour l'élever à un degré de température donné, ou, ce qui revient au même, lors-

qu'il reçoit ainsi que divers métaux la même quantité de chaleur, les masses étant supposées égales, sa température s'élève moins que celle des autres substances métalliques; c'est pour cela que sa chaleur spécifique, qui représente cette quantité de calorique nécessaire pour qu'il acquière un certain degré de température, est plus considérable que celle de tous les autres métaux.

La conductricité ou la vitesse avec laquelle la chaleur se meut dans les corps, ainsi que leur dilatabilité, ne paraissent être dans aucun rapport avec leur capacité pour le calorique.

106. Le temps nécessaire pour que la température s'élève à un degré donné, dépend du calorique spécifique et de la conductricité de chaque corps: il est en rapport inverse avec celle-ci et en rapport direct avec l'autre.

C'est donc à tort qu'on a voulu déterminer la conductricité des corps, en supposant qu'elle était simplement en rapport inverse avec le temps qu'ils emploient pour passer d'un degré de température à un autre; puisque ce temps est en raison composée de la conductricité et de la capacité. En suivant cette marche, on a dû supposer que la conductricité était aussi en rapport inverse avec la capacité des corps, ce qui n'est pas toujours confirmé par l'expérience. Il est vrai que le fer, dont la capacité est très-grande, ne montre qu'une assez faible conductricité; il s'élève plus tard que les autres métaux à un degré de chaleur déterminé et redescend avec plus de lenteur à une basse température.

107. Buffon a fait des expériences sur le temps qui est nécessaire pour chauffer des fers de différentes dimensions. Il a cherché une loi, d'après laquelle on pût déterminer ce temps pour tous les volumes. Mais les résultats de ses expériences sont inexacts et d'un usage difficile pour la pratique, parce que la forme des corps les modifie diversement. La sphère a été choisie de préférence par ce naturaliste.

La répartition de la chaleur dans les corps, doit suivre du reste des lois constantes. Il nous importe d'examiner avant tout, les changemens principaux que le fer subit dans les différens degrés de température.

108. La chaleur, en ramollissant le fer, le dilate dans toutes ses dimensions. Cette dilatation, presqu'imperceptible à une basse température, s'accroît de plus en plus quand on élève le degré de chaleur; et la dureté diminue à un tel point que le fer devient pâteux et qu'il finit par se liquéfier entièrement.

La dilatation est dans un certain rapport avec l'accroissement de température, mais on ne connaît pas encore au juste l'augmentation de volume qui doit en résulter.

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à l'ébullition de l'eau.

109. L'influence du calorique sur la dureté du fer, est très-sensible, même pour une légère variation de température. Un fer forgé reconnu de bonne qualité, à la température ordinaire de l'été, ne peut soutenir des chocs pendant la gelée. Il paraît qu'en général le froid rend les corps beaucoup plus aigres. On ne peut donc juger avec certitude de la qualité du fer, ni de celle de la fonte, ni de celle de l'acier, en soumettant ces métaux aux épreuves des secousses et de la chute pendant les froids de l'hiver*. Aussi les canons de fusils et toutes les bouches à feu crèvent plus souvent dans cette saison; et les gros marteaux des forges ont alors besoin d'être chauffés lorsqu'on veut les mettre en mouvement.

* Ces faits nous conduisent à cette conclusion, qu'une certaine espèce de nos fers d'artillerie, les essieux qui sont destinés à supporter des chocs et des secousses, quelquefois pendant les froids les plus rigoureux, ne devraient être essayés que pendant l'hiver, et au moment des gelées. Le T.

110. Hoellstrom a fait des expériences très-précises sur la dilatation du fer aux différentes températures, depuis — 40° jusqu'à + 100°; il en résulte que, si la longueur du fer est 1 à 0°, elle subira les variations suivantes :

Degrés du thermomètre centigrade.			Longueur.
à —	40°	—	0,999682.
—	30	—	0,999721.
—	20	—	0,999811.
—	10	—	0,999904.
	0	—	1,000000.
+	10	—	1,000102.
+	20	—	1,000211.
+	30	—	1,000328.
+	40	—	1,000453.
+	50	—	1,000588.
+	60	—	1,000734.
+	70	—	1,000892.
+	80	—	1,001063.
+	90	—	1,001247.
+	100	—	1,001446.

Le fer dont cet auteur fit usage, était un fil de 3 millimètres de diamètre, dont la pesanteur spécifique, à la température de 19° centig., était de 7,737; ce métal s'étend par conséquent de 0,001814 ou de $\frac{1}{545}$ depuis — 40° jusqu'à 100° et de $\frac{1}{694}$ depuis la glace fondante jusqu'à 100°. Son volume augmenterait donc dans le premier cas, de $\frac{1}{1827}$ et dans le deuxième, de $\frac{1}{231}$.

Les résultats que nous venons de rapporter, ne s'accordent point avec ceux qui ont été obtenus par d'autres physiciens. Si l'on suppose la longueur du fer à 0° égale à 1, il se dilatera au degré de l'ébullition de l'eau, suivant La Condamine, de 0,00106; suivant Bouguer, de 0,00055; suivant Elicott, de 0,0006; suivant Juan, de 0,00092; suivant Lowitz, de 0,0008; suivant Smeaton, de 0,00125; suivant Muschenbroek, de 0,00073; enfin, suivant Herbert, de 0,00107.

111. Ces différences considérables dans l'évaluation de la dilatation du fer, depuis la glace fondante jusqu'à l'ébullition de l'eau, nous font présumer que celle des autres corps n'aura pas été déterminée avec plus d'exactitude. MM. Dalton et Davy ont donné un tableau de la dilatation de diverses substances, depuis o jusqu'à 80° de Réaumur; leurs résultats, puisés probablement à la même source, sont assez concordans. Si la valeur absolue des nombres laisse quelque doute, leur valeur relative peut néanmoins servir de rapport entre la dilatation du fer et celle des autres corps. Nous allons par conséquent les transcrire tels que Davy les a donnés.

La longueur étant exprimée par 100000,

Le verre	*devient en se dilatant.*	100083.
— platine.	*id.*	100087.
— or.	*id.*	100094.
— antimoine	*id.*	100108.
— fer cru.	*id.*	100111.
— acier.	*id.*	100112.
— fer forgé.	*id.*	100126.
— bismuth	*id.*	100139.
— cuivre rouge	*id.*	100170.
— laiton jaune fondu.	*id.*	100180.
— argent	*id.*	100238.
— étain.	*id.*	100278.
— zinc fondu	*id.*	100296.
— zinc forgé.	*id.*	100308.
— mercure	*id.*	101835.
— fluides élastiques.	*id.*	137500.

C'est le verre, le platine, l'or, l'antimoine et le fer qui éprouvent la plus faible dilatation, depuis o° jusqu'à l'ébullition de l'eau. M. Davy prétend que le fer cru s'étend moins que l'acier, et celui-ci moins que le fer forgé. On emploie ce dernier ou l'acier pour la confection des pendules; et l'on corrige, d'une manière ingénieuse,

les variations dans la longueur de la verge, au moyen de celles du cuivre qui sont plus fortes.

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la chaleur rouge.

112. Puisque les températures peu élevées produisent dans le fer des changemens si marqués, il est clair que la chaleur rouge, qui commence à peu près à 1000 degrés de Fahrenheit *, en produira de très-considérables.

Au reste nous n'avons point de données positives sur la dilatation et le ramollissement du fer. Muschenbroek a fait à ce sujet quelques expériences dont les résultats manquent d'exactitude. Il paraîtrait, selon Rinman, que le fer s'étend, depuis la température ordinaire de l'été jusqu'à la chaleur rouge, de $\frac{4}{560}$, l'acier de $\frac{6}{560}$, et la fonte de $\frac{7}{560}$.

Si les observations de Rinman sont exactes, et si en même temps, il est prouvé qu'au-dessous de l'ébullition de l'eau, la fonte se dilate moins que le fer et l'acier; il doit exister un degré de chaleur où ces trois espèces de fer obéissent dans leur dilatation à une loi opposée à celle qui les régissait d'abord. Rinman prétend avoir remarqué que, à la température de 500 à 1550°, le fer se trouve dilaté de $\frac{3}{560}$, l'acier de $\frac{4}{560}$ et la fonte de $\frac{5}{560}$; il s'ensuit que

* Afin d'aider la mémoire d'une partie de nos lecteurs, nous rappellerons ici que le 0° de Réaumur correspond à 32° de Fahrenheit et l'ébullition de l'eau à 212°. Pour convertir un nombre A de degrés de Fahrenheit, en degrés du thermomètre centigrade, et en degrés de Réaumur, on établit les proportions (212 — 32) : 100 :: A — 32 : X et (212 — 32) : 80 :: (A — 32) : X; ce qui donne pour les degrés centigrades $X = \frac{5}{9}$ (A — 32) et pour les degrés de Réaumur, $X = \frac{4}{9}$ (A — 32). Si A était plus petit que 32, il faudrait soustraire A de 32, et donner au reste le signe —. Le 0 du pyromètre de Widgwood correspond à 598° centigrades, et chaque degré est égal à 72° du thermomètre centigrade.

Le T.

le degré de température dont nous venons de parler, ne peut exister qu'entre 212 et 500° de Fahrenheit.

113. Le phénomène le plus intéressant que nous présente le fer dans cette période, c'est le changement de couleur de la surface; il se manifeste à 400° de Fahr.: cette couleur n'est point passagère, elle reste après le refroidissement, telle que la chaleur l'a produite. Les métaux qui se liquéfient après avoir passé par la chaleur rouge, les métaux précieux exceptés, subissent une altération semblable; les autres fondent aussi tôt que le changement de couleur commence à s'opérer. On fait usage de cette propriété du fer, soit pour orner certains objets, soit pour des raisons dont il sera question plus bas. L'éclat des couleurs augmente avec le poli de la surface: il s'ensuit que l'acier doit l'emporter à ce sujet sur le fer, et celui-ci, sur la fonte grise; mais la fonte blanche peut recevoir des couleurs aussi brillantes que l'acier.

114. La surface du fer se colore diversement à des degrés de température déterminés: elle devient jaune de paille à 400°, point de fusion de l'étain; jaune d'or ou jaune foncé à 420°; cramoisi à 450°, point de fusion du bismuth; violet, pourpre et bleu foncé à 540°, lorsque le plomb se liquéfie; cette couleur passe ensuite au bleu clair, au vert de mer et finit par disparaître à 700°, point de fusion du zinc. Si l'on élève davantage la température, on fera renaître la même série de couleurs, à commencer par le jaune pâle, le cramoisi, le violet, etc.; mais elles seront moins vives et disparaîtront plus vîte. Un instant avant la chaleur rouge, il se forme pour la troisième fois une couleur bleu foncé; et, si dans ce moment, le métal est retiré du foyer, on le trouve recouvert d'une légère pellicule. Nous pouvons admettre en principe que ces couleurs sont un effet de la combinaison de l'oxigène avec le fer, quoique ces états d'oxidation nous soient encore inconnus.

115. Toutes ces couleurs ont peu d'éclat, à l'exception du bleu foncé de la première série. C'est la seule que l'on soit en usage d'employer pour ornement; mais elles sont toutes d'une grande utilité, parce qu'elles servent à faire juger du degré de recuit qu'on veut donner à chaque espèce d'acier, afin de le rendre moins fragile, sans trop en diminuer la dureté *.

116. On est dans l'usage de bleuir quelquefois la surface du fer ou de l'acier, après l'avoir poli, mais il faut de l'adresse et une grande habitude pour exécuter cette opération.

117. Les trois espèces de fer ne se colorent pas à la même température; l'acier exige moins de chaleur que le fer forgé, et celui-ci, moins que la fonte grise. Nous ne pouvons exprimer exactement ces différences de températures au moyen du thermomètre; mais elles sont si considérables, que l'acier atteint souvent le troisième terme de la série, quand le fer n'est encore parvenu qu'au deuxième, et la fonte grise, qu'au premier.

On n'a pas encore fait à ce sujet d'expériences sur la fonte blanche comparée aux autres espèces de fer: il est probable qu'elle précéderait même l'acier. Le fer se colore d'autant plus vîte qu'il est plus dur. On peut donc distinguer de cette façon les endroits durs et les endroits mous d'une même barre; les premiers seront déjà bleus, lorsque les autres paraîtront à peine jaune rougeâtre.

118. Après avoir passé par tous les degrés de température qui produisent les changemens de couleur à sa surface, le fer étant chauffé davantage, devient lumineux dans l'obscurité; sa couleur, brune d'abord, s'éclaircit de plus en plus, bientôt elle est rouge, même au grand jour: ex-

* C'est pour cette raison que nous appellerons dorénavant ces couleurs, dont il sera souvent question, les *couleurs du recuit*. Le T.

posé peu de temps à ce degré de chaleur, ce métal conserve ses propriétés.

Il n'en est pas de même de l'acier; trempé, il perd par la chaleur toute la dureté provenant de la trempe; non trempé, il acquiert plus de douceur qu'il n'en avait avant la chaude opérée au contact de l'air. Le fer dur se trouve dans le même cas, tandis que dans le fer mou on ne reconnaît aucune modification après le refroidissement.

Comme l'aigreur diminue avec la dureté, on trouve dans le recuit un moyen d'ôter au fer cette mauvaise qualité, lorsqu'elle est une suite du martelage à froid. Le fer aigre de sa nature (92) ne peut perdre, par le recuit, ce défaut, qui dans ce cas ne résulte pas exclusivement de sa dureté.

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à la température de la fusion.

119. A mesure que la température s'élève, le rouge s'éclaircit davantage (118), se change en jaune et finit par passer à une couleur blanche éclatante. Ce degré de température s'appelle *la chaleur blanche.* La différence entre la chaleur rouge et la blanche est si considérable, que cette dernière s'estime à 12,000° de Fahr., l'autre n'étant que de 1000. Cependant, on ne connaît encore aucun moyen facile de déterminer les nombreux degrés intermédiaires entre ces deux points remarquables. Avant que le fer devienne lumineux, on juge de sa température par les couleurs du recuit dont nous avons parlé aux paragraphes 114 et suiv.; au-delà de ce point, il ne reste d'autres signes pour la connaître que les différentes nuances du rouge, du jaune et du blanc : On ne peut l'apprécier que par une longue habitude.

Les degrés de chaleur nécessaires pour fondre le cuivre, l'argent et l'or, estimés à 4500, 4700 et 5200° de Fahr., sont encore bien au-dessous de la chaleur blanche.

Il est essentiel pour la trempe de l'acier, qu'on puisse juger de l'intensité des chaudes avec une grande exactitude; car chaque espèce d'acier demande, pour ainsi dire, un degré de chaleur particulier. Les différens fers même veulent être travaillés à divers degrés de chaleur blanche pour conserver toute leur qualité. Il serait d'une grande utilité pour la préparation du fer et son emploi dans les arts, qu'on pût trouver un moyen pratique de connaître les degrés de chaudes avec une certaine précision. Rinman propose d'employer à cet effet la dilatation même du fer; mais nous avons fait observer déjà qu'il est difficile de l'apprécier dans les basses températures, et que les résultats obtenus à une chaleur plus forte sont pleins de contradictions (110 — 112). Ce qui s'oppose plus particulièrement encore à l'adoption de ce procédé, c'est que la dilatation varie selon la qualité du fer. Dans les derniers temps on a proposé le platine, parce qu'il est plus réfractaire que le fer et qu'il ne s'oxide pas. Mais l'emploi de ce pyromètre laisserait encore beaucoup d'incertitude, par la difficulté de l'observation.

120. L'acier, la fonte et le fer prennent les diverses chaudes lumineuses, en conservant entre eux l'ordre qu'ils observent pour atteindre les couleurs du recuit. L'acier devient plus tôt rouge et blanc que le fer forgé, et celui-ci précède la fonte grise; mais la fonte blanche se chauffe aussi vite que l'acier. Cette différence entre les temps d'échauffement, est d'autant plus forte, que l'acier est plus dur et le fer plus mou. Ces faits d'expérience se vérifient tous les jours dans la fabrication des objets aciérés.

121. Les fers chauffés au blanc sont extrêmement mous et susceptibles de recevoir toutes les impressions; ce qui a été dit (118) des changemens que le fer et l'acier éprouvent après leur refroidissement, s'applique aussi à ce cas; pourvu cependant que les fers ne soient pas exposés au courant

d'air, ni chauffés sous une enveloppe de poussière de charbon, ni soumis trop long-temps à la chaleur blanche.

122. Il résulte des expériences de Rinman, que le fer forgé se dilate, en passant du rouge brun au blanc, de $\frac{5}{560}$, l'acier de $\frac{4}{560}$ et la fonte de $\frac{6}{560}$; que la dilatation du fer depuis la température ordinaire de l'été jusqu'au premier degré de la chaleur blanche, est de $\frac{7}{560}$ pour le fer forgé, de $\frac{10}{560}$ pour l'acier et de $\frac{12}{560}$ pour la fonte.

123. Si l'on augmente encore la chaleur, le fer se ramollit à un tel point qu'il finit par entrer en fusion. C'est alors, sur-tout, qu'il se comporte bien différemment dans ses trois états. Le fer ductile exige une si haute température pour entrer en liquéfaction, qu'on l'a regardé long-temps comme infusible. Le degré de fusion de l'acier est en raison inverse de sa ductilité ou du corps qu'il possède; on l'estime entre 150 à 155° de Wedgwood. Le fer cru se liquéfie, dit-on, entre 125 à 130° de Wedgwood; mais ces données sont inexactes puisque la fonte blanche entre en fusion lorsque le fer ductile acquiert le blanc suant. On peut même dire que la fonte grise, de toutes la moins fusible, se liquéfie à une forte chaleur soudante.

Chacune des trois espèces de fer demande un examen séparé; parce que la chaleur et l'oxigène agissent différemment sur elles, et qu'on n'est pas toujours le maître de les préserver entièrement de l'influence de l'air et du combustible.

Des propriétés du fer ductile dans les températures élevées.

124. Le fer jouit d'une propriété particulière, qui n'a encore été reconnue dans aucun métal, si ce n'est tout nouvellement dans le platine: il peut s'unir avec lui-

même à la chaleur blanche, c'est ce qu'on appelle se *souder*. Les autres métaux se ramollissent également avant la fusion; mais il est impossible de réunir leurs morceaux ramollis en une masse, par une pression mécanique, et sans avoir besoin de les liquéfier. C'est à la soudabilité que nous devons les immenses avantages que le fer procure à la société, car ce métal est si difficile à fondre, qu'on ne pourrait le mettre en œuvre comme le cuivre ou l'argent.

Ce n'est qu'à la chaleur blanche qu'on peut effectuer les soudures; on l'appelle, pour cette raison, le *blanc soudant*. Le fer dur y arrive plus vîte que le fer mou: celui qui ne possède qu'une très-faible soudabilité, rentre dans la classe des mauvais fers, quelles que soient du reste ses autres qualités: on le nomme *fer rouverin*.

Il existe aussi des fers qui se laissent très-bien souder et qui manquent de ténacité. Enfin il en est qui se soudent bien à la chaleur blanche, et qui se fendillent ou se *criquent* sur les arêtes, pendant le forgeage, quand on approche du rouge cerise; ce sont aussi des fers rouverins: on les appelle *fers de couleur*, lorsqu'ils ne possèdent ce vice qu'à un seul degré de chaleur. En un mot, le fer peut être rouverin au rouge cerise, au rose ou à la chaleur blanche. Il faut remarquer cependant, qu'il existe des fers rouverins qui ne se criquent pas pendant le martelage. Ces sortes de fers peuvent servir à une foule d'usages, si le défaut dont il s'agit n'est point très-prononcé: les pièces fabriquées et mises en place offrent alors une grande résistance à la température ordinaire.

Le fer mal affiné devient à la fois rouverin et cassant à froid. Le fer tendre (92 — 93) est presque toujours très-soudable, mais on en trouve aussi qui est brisant à chaud et cassant à froid, sans être imparfaitement affiné; c'est le plus mauvais fer. Il serait impossible de souder par les

moyens ordinaires, du fer d'un très-faible diamètre; on n'y parvient qu'à l'aide de la pile galvanique.

125. Si le fer en barres, chauffé au rouge, reste exposé au contact de l'air, sa surface se recouvre d'une enveloppe qui devient de plus en plus épaisse, qui se détache peu à peu, tombe et se renouvelle, jusqu'à ce que toute la masse du fer soit convertie en une semblable matière. On l'appelle ordinairement *écailles*, *battitures* ou *paillettes* de fer; elle se forme d'autant plus vîte que la chaleur est plus forte, que l'accès de l'air est plus libre, et que la surface du fer est plus grande, abstraction faite de l'influence que chaque espèce de combustible peut avoir sur cette opération chimique. Les scrupuleuses expériences de Riuman paraissent prouver que le fer mou se couvre plus tôt d'une couche d'oxide, que le fer dur.

126. Une chaleur blanche modérée, aidée du contact de l'air, produit sur le fer une couche noire moins épaisse et plus fine qu'elle ne le serait si la température était très-forte; mais cette matière se détache plus difficilement du métal et s'y creuse davantage: en séjournant quelque temps sur le fer, elle prend une couleur brun foncé, qui s'éclaircit de plus en plus et finit par passer au rouge brun clair.

Si l'on forge le fer sous le marteau, l'ébranlement qui en résulte fait tomber la couche d'oxide qui le dépare. Il n'en est pas de même au laminoir; les barres ne recevront un bel aspect qu'autant que le travail se fera avec la plus grande célérité.

Chauffé rapidement, le fer enveloppé d'une couche de paillettes conserve toute sa qualité. Il n'en est pas de même si la chaleur est variable et prolongée: ce métal perd alors une grande partie de sa ténacité, subit un fort déchet, et se rapproche des fers cassans et mous, après son refroidissement; on l'appelle alors *fer brulé*.

Le fer mou est plus sujet à se détériorer par les mauvaises chaudes que le fer dur; il suffit du reste de donner au fer brûlé une chaude suante, hors du contact de l'air, dans un bain de scories, par exemple, pour lui rendre sa qualité première. Nous concluons de tout ceci que le fer doit être chauffé très-rapidement. On est souvent averti de la vérité de ce principe par les pertes qu'on éprouve, soit lorsque le charbon est humide, soit lorsque les soufflets sont en mauvais état, soit enfin quand le fer est exposé au contact immédiat de l'air, devant la tuyère ou dans les fours à réverbère.

On a déjà vu (75) que le fil recuit possède moins de ténacité que le fil non recuit. La cause inconnue de ce fait doit aussi s'étendre au fer en barres fortement recuit *.

127. Pour éviter le déchet et la détérioration du fer, il serait à désirer qu'on le couvrît d'une enveloppe, pour le défendre de l'action de l'air et lui conserver sa qualité; mais on ne connaît pas encore de substance qui puisse servir à cet effet, dans la pratique. On doit donc empêcher, autant qu'il est possible, la formation de l'oxide, en donnant une chaleur continue et en tenant le fer hors du courant d'air **.

---

* Ce fait me paraît s'expliquer facilement. Le recuit, quand il n'est pas suivi de l'effet d'une machine comprimante, dilate le fer, et lui donne par suite plus de corps et de ductilité. Le poids agissant sur le métal par traction commencera donc par l'étirer, par en diminuer le diamètre, dans une proportion plus grande que pour un fer plus raide et non recuit, possédant alors un diamètre moindre que celui de ce dernier, il se rompra sous une moindre charge. Mais dans l'emploi du fer en barre, on ne prend pas des échantillons si petits que la puissance à laquelle la pièce doit résister puisse l'étirer d'une manière sensible; ce dont il faut se défendre, c'est l'aigreur, le défaut de corps ou de ductilité. On fera donc toujours bien de recuire le fer dans le plus grand nombre de cas, et surtout dans nos arsenaux. Le T.

** On a trouvé une composition qui ne se fendille point, qui s'attache

128. La préparation et le travail du fer, ne pouvant s'exécuter sans la présence de l'air atmosphérique, il faut avoir la plus grande attention de dérober ce métal à son influence nuisible. On y parvient dans les renarderies, et les chaufferies, en le tenant toujours enveloppé d'une couche de matière liquide, formée, soit par les scories qui résultent de l'affinage, soit par la substance que nous avons appelée paillettes, soit avec de l'argile ou du sable projetés sur le fer lorsqu'il est rouge; mais l'argile ne s'emploie que rarement.

Ces matières vitrifiables forment une enveloppe de laitier qui protége le métal contre l'action de l'air. Si toute sa surface en était parfaitement couverte, on pourrait l'exposer long-temps à une haute température, sans craindre de le détériorer. C'est ainsi que, chauffé dans un creuset avec du verre et maintenu à la chaleur du blanc soudant, il conserve toutes ses qualités et ne perd que son aigreur (118). Mais dans les foyers de forge, on ne peut l'abriter d'une manière aussi complète ni empêcher, par conséquent, qu'il ne subisse, à un degré plus ou moins fort, les changemens dont il a été question (126). On doit donc hâter les chaudes pour diminuer le déchet et ne point nuire à la qualité du métal. Lorsque, dans certaines circonstances, on est forcé de les prolonger, on enduit la

---

fortement au fer et fait corps avec lui. On la prépare avec une partie de briques pilées très-fin, une partie de chaux vive, une partie de gypse calciné, deux de limaille ou à son défaut de battitures de fer, et une partie de verre pilé: toutes ces quantités se prennent à la mesure et non au poids. Ce mélange est converti en pâte avec du sang de bœuf; il résiste à la chaleur rouge, mais sans pouvoir supporter la température du blanc soudant, ce qui fait qu'il ne peut guère servir que de mastic; il est très-propre à cet usage, comme s'opposant très-bien au passage de la vapeur. Pour un degré de température plus élevé que la chaleur rouge, on peut faire usage d'un mélange d'argile, de battitures de fer et de crottin provenant de chevaux mis au vert. Note de l'Auteur.

surface du fer d'une pâte semblable à celle dont il a été question au paragraphe précédent; cependant, on ne doit pas en attendre un succès complet, à moins que la barre n'en soit hermétiquement enveloppée pendant toute la chaude. On trouve un exemple de cette manière d'opérer dans la fabrication de la tôle.

129. Les charbons incandescens, dont le fer est entouré, agissent à leur tour sur le métal et produisent des phénomènes bien différens de ceux que nous venons de relater. Si la chaude n'est ni très-intense ni très-prolongée, les charbons ne feront qu'empêcher l'action de l'air atmosphérique sur le fer, sans lui communiquer des propriétés nuisibles : c'est même un moyen de lui rendre sa qualité, si elle a souffert par une chaude sèche ou par un martelage à froid. Dans le premier cas, il faut porter la température jusqu'au blanc soudant : on ferait encore mieux de chauffer le fer dans un bain de scories, parce qu'il ne serait guère possible de l'envelopper de charbons, au point que l'air ne pût pénétrer et agir sur le métal. Mais, en tout cas, il est essentiel que la chaude soit suivie d'une compression, d'un étirage sous le marteau ou le laminoir.

130. En chauffant le fer devant la tuyère, au milieu de charbons embrâsés, on doit avoir une grande habitude pour ne pas le brûler. Les charbons ne peuvent le couvrir d'une manière parfaite : il faut donc employer le sable ou des matières vitrifiables pour lui donner une enveloppe artificielle, si déjà il n'existe un bain de laitier ou fond du foyer. La substance la plus convenable pour cet objet, est la battiture de fer que l'on recueille dans les platineries, autour des martinets; ou, ce qui revient au même, les écailles qui se détachent des fers laminés. *.

* J'ai fait plusieurs essais à ce sujet ; ils m'ont prouvé que les sables et les terres argileuses produisent souvent un effet nuisible sur la qualité du fer, tandis que j'ai toujours été satisfait de l'emploi des battitures. Le T.

Il est essentiel dans le travail du fer, que les chaudes soient bien conduites; elles lui conservent alors sa qualité, et l'améliorent quand il a souffert par un traitement défectueux. Mais il n'est pas facile d'y réussir toujours; pour peu que le métal reste exposé au courant d'air, il se forme une couche d'oxide, qui bientôt est remplacée par une autre et ainsi de suite, ce qui occasionne un déchet considérable et change la nature du fer. Si au contraire, on le chauffe trop au-dessus de la tuyère, crainte de le brûler, on tombe dans l'inconvénient des chaudes lentes dont nous allons parler. Une expérience journalière nous fait voir que les ouvriers gâtent souvent le meilleur fer, et lui attribuent ensuite des défauts qui ne sont dus qu'à leur inhabileté.

131. Si le fer, à l'abri de l'air et en contact avec le charbon, reste exposé long-temps à la chaleur blanche, il prend toutes les propriétés de l'acier : la fabrication de l'acier de cémentation repose sur ce fait d'expérience. Si la chaleur n'a pas été assez forte ni prolongée assez long-temps, le fer se couvre seulement d'une couche d'acier; mais le moindre accès de l'air provoque la formation de l'oxide qui se liquéfie à l'instant.

132. Lorsque la température est élevée encore à un plus haut degré, et que le fer, en présence avec le charbon, est mis en fusion dans un creuset fermé hermétiquement, on obtient, ou de l'acier, ou de la fonte blanche, ou de la fonte grise. Il paraît que c'est la chaleur seule qui produit ces diverses modifications dans la combinaison du fer avec le carbone; car le charbon ne manque jamais dans ces sortes d'expériences, le fer pourrait en prendre constamment une même quantité. Au reste, ce n'est que dans le cas où la chaleur a été poussée et soutenue long-temps au plus haut degré, qu'on obtient de la fonte grise.

133. Il arrive quelquefois dans les feux de forges que le

fer se combine avec le carbone. On dit alors qu'il a repris sa crudité on sa première nature; mais cet accident est assez rare, et quand il se présente, on peut y remédier par une ou plusieurs chaudes suantes: dans ce cas, le fer est seulement aciéreux, à moins que, par un excès de précaution, l'ouvrier, le tenant toujours sous le vent, ne l'ait changé entièrement en fonte.

134. Le fer ductile liquéfié en contact avec le carbone, perd toujours ses propriétés et se change en acier ou en fonte. On a cru long-temps qu'il était impossible de le fondre sans en altérer la nature; pour y parvenir, il faudrait l'exposer, d'après M. Kenzie, à la température de 160° de Wedgwood, sans le mettre en contact ni avec l'air ni avec le charbon. Mais ce degré de température est exagéré. Au reste on est obligé d'employer pour cet objet la plus forte chaleur qu'on puisse produire dans les meilleurs fourneaux à vent. On ne peut donc déterminer le point de température où il passe à l'état de fluide élastique.

Quelque intéressante que soit la découverte de M. Kenzie, sous le rapport scientifique, la sidérurgie est loin d'en retirer aucun avantage. La soudabilité du fer nous donne le moyen de l'employer pour tous les usages, tandis que la chaleur extraordinaire qu'il exige pour entrer en fusion, empêche de tirer parti de sa fusibilité. D'après les expériences faites à Londres, on a fondu, en 12 secondes, à l'aide du miroir ardent de Parker, 10 grains de fer forgé. Le fer ductile fondu a une couleur blanche argentine et une cassure crochue; il est doux, devient très-nerveux et possède une pesanteur spécifique de 7,7.

Des propriétés de l'acier dans les températures élevées.

135. L'acier se conduit comme le fer dans les hautes températures, et principalement comme le fer dur. Il

soude avant lui (124) et se couvre moins vîte d'une couche d'oxide (125). Les chaudes sèches et prolongées lui font éprouver les mêmes changemens qu'au fer (126 — 128), quoiqu'ils arrivent plus tard; avant de les subir, il perd sa nature d'acier et prend les propriétés du fer; c'est ce que les ouvriers appellent *se pâmer*. Certains aciers se pâment plus tôt que d'autres: on ne peut les corriger par les chaudes grasses; mais ils forment ensuite un excellent fer, s'ils sont eux-mêmes de bonne qualité.

L'acier non trempé ne change pas quand on lui donne une chaude grasse et rapide; soumis long-temps à la chaleur blanche, sans le contact de l'air, son grain devient plus fin et plus homogène. Mais l'acier trempé éprouve des changements considérables étant exposé à la chaleur et refroidi lentement; il perd sa texture, sa couleur et reprend l'éclat qu'il avait avant la trempe. Ce changement d'un métal aigre dur, d'une couleur blanche, en un fer très-malléable et *vice versa* peut se répéter un grand nombre de fois.

136. L'expérience a prouvé depuis long-temps que le fer fort et dur perd une partie de sa dureté, étant exposé à la chaleur blanche avec le contact de l'air. Ce fait est d'accord avec les phénomènes que présente l'acier dans les mêmes circonstances. L'un et l'autre se rapprochent alors de la nature du fer le plus pur, tandis que le fer dur et cassant conserve sa dureté et devient encore plus mauvais. Du reste, il ne s'agit point ici de la dureté et de l'aigreur qui sont une suite de la trempe ou du martelage à froid (68); on les corrige à un degré de chaleur beaucoup plus faible (118).

137. L'acier, pouvant perdre au feu toutes ses propriétés caractéristiques, demande à être chauffé avec plus de soins et de précautions encore que le fer; on doit le saupoudrer de sable pour le protéger contre l'influence de l'air atmo-

sphérique (130) et l'empêcher aussi de se changer en fonte (133). Enfin, les règles prescrites pour chauffer le fer s'appliquent également à l'acier.

138. Soumis à la chaleur blanche, sans le contact de l'air, l'acier ne subit point de changement (135); mais si l'on fait usage de la poussière de charbon pour le défendre contre l'influence de l'air atmosphérique et s'il est maintenu long-temps au degré du blanc soudant, il perd une partie de sa ténacité, cesse d'être ductile et malléable, et finit par ne plus pouvoir se souder. Si la température s'élève jusqu'au point de sa fusion, il passe complétement à l'état de fonte.

139. Si donc, on veut liquéfier l'acier et lui conserver toutes ses propriétés, on doit le préserver du contact de l'air, ne pas le couvrir d'une couche de poussière de charbon et le chauffer avec rapidité, surtout en faisant usage de creusets brasqués. Une chaleur vive et l'emploi d'une substance vitrifiable servant à couvrir le métal, sont des points essentiels dans la fabrication de l'acier fondu; couvert d'une couche de verre et entretenu quelque temps à l'état liquide, non-seulement il conserve toutes ses propriétés, mais il devient aussi plus fin et plus homogène (135).

La liquéfaction des aciers durs et des aciers mous mêlés en diverses proportions, est un moyen sûr d'obtenir des produits de différens degrés de dureté, selon l'usage auquel on les destine. Ce moyen paraît préférable au raffinage; il serait généralement adopté, s'il n'exigeait pas l'emploi d'une si haute température, ce qui occasionne une forte dépense en combustible et en creusets. Une addition de 1 à 2 p. % de charbon pur paraît produire un bon effet dans la fusion de l'acier de cémentation; le métal devient plus dur, mais aussi moins soudable*.

* Les aciers fondus sont toujours moins soudables que des aciers de

Des propriétés de la fonte dans les températures élevées.

140. Le fer cru manque en général de soudabilité, ce qui le distingue du fer ductile et de l'acier; la fonte blanche en est entièrement dépourvue, parce qu'à une température peu élevée elle devient déjà pâteuse et ne peut alors être soumise à une forte compression; tandis que la fonte grise, qui demande un plus haut degré de chaleur pour entrer en fusion, est très-légèrement soudable: mais le passage de la chaleur soudante à la chaleur de la fusion est si rapide, que le soudage ne peut être effectué que par une extrême célérité. La manière d'être du carbone dans ce métal, augmente encore la difficulté: il se trouve d'ailleurs dans le même cas que l'acier très-dur, qui ne possède non plus qu'un faible degré de soudabilité. Cette propriété si précieuse pour le fer, ne serait du reste d'aucun usage pour l'emploi de la fonte dans les arts, puisque devenue liquide, elle est susceptible de prendre toute espèce de forme, étant versée dans les moules.

141. Si dans les hautes températures la fonte reste exposée à l'influence de l'air atmosphérique, elle se comporte comme le fer et l'acier; mais il faut une chaleur plus prolongée pour qu'elle se couvre d'une couche d'oxide: cette couche est toujours plus épaisse, plus rude, d'un grain moins fin que celle qui couvre le fer ductile; poreuse et très-fusible, elle fournit au métal une enveloppe liquide, qui ralentit les progrès de l'oxidation, si le coup de feu est rapide. Une chaleur faible et prolongée long-temps, produit

---

forge du même degré de dureté. Il s'ensuit que la fusion ne deviendrait jamais un moyen général de rendre les aciers homogènes, lors même qu'on ferait abstraction des dépenses qui en résultent. Le T.

au contraire une couche moins épaisse et d'un grain plus fin, dont la couleur noire passe peu à peu au brun, et finit par devenir entièrement rouge. Cet oxide est alors moins fusible.

On ne connaît pas encore de substance qui puisse servir d'enveloppe artificielle à la fonte, et résister aux températures élevées: la terre glaise dont on fait usage, ne remplit ce but qu'imparfaitement. On est donc réduit à n'empêcher l'accès de l'air qu'en partie, et à éviter les changemens de température pour les vaisseaux exposés à la chaleur.

142. On pense que le fer cru se fond à 17 ou 18000° de Fahrenheit. Cette estimation est certainement trop élevée. La fonte blanche arrive plus tôt au point de fusion que la fonte grise, mais cette dernière devient plus liquide: l'une et l'autre occupent alors un volume moins considérable qu'avant leur changement d'état; la fonte solide surnage dans le bain, si toutefois elle est déjà pénétrée d'un haut degré de chaleur; car la fonte froide se précipite. Le fer cru fait donc une exception aux lois générales de la dilatation des corps; cette apparente anomalie provenant de la cristallisation, a également lieu pour le bismuth, l'antimoine, le zinc, le soufre et l'eau: la fonte n'en devient que plus propre à être moulée, parce qu'elle remplit les moules parfaitement.

La fonte blanche se dilate moins que la grise, en passant de l'état liquide à l'état solide, ou ce qui, dans certaines circonstances, revient au même, elle subit un retrait plus considérable par le refroidissement. En employant la fonte de cette nature pour des objets coulés, on ne doit point négliger cette considération; si au contraire, on fait usage de l'autre, il faut opposer à la pression que la fonte exerce contre les parois du moule, une pression extérieure et augmenter sa compacité par la hauteur des jets et le poids des masselottes.

143. Il est essentiel pour la pratique que l'on connaisse exactement le retrait de la fonte, passant de l'état liquide à l'état solide et froid; parce qu'on est obligé d'augmenter de cette quantité les modèles qui servent à la confection des moules. Ce retrait varie selon la qualité de la fonte entre $\frac{1}{95}$ et $\frac{1}{90}$ pour chacune des trois dimensions. Terme moyen, on compte ordinairement sur $\frac{1}{96}$ pour la bonne fonte grise.

144. *La fonte grise* soumise à une chaleur continue et modérée, se couvre d'un oxide plus friable et moins compacte que celui de la fonte blanche; mais sa ténacité n'augmente guère.

Grillée long-temps à la chaleur blanche, elle devient poreuse, perd de sa résistance et finit par se convertir entièrement en oxide. Si, au contraire, la température est portée rapidement jusqu'au point de fusion, la couche d'oxide devenue liquide couvre et protège la surface du bain. Exposé dans cet état à un vent fort, le métal s'oxide entièrement, si l'on enlève les scories à mesure qu'elles se forment, jusqu'à ce que toute la masse liquide soit réduite en laitier.

Si la fonte grise est tenue en bain sans éprouver l'action d'un fort courant d'air, elle conserve son état métallique, sa couleur s'éclaircit, sans cependant passer au blanc, sa texture reste toujours grenue et ne devient jamais rayonnante comme celle de la fonte blanche. Ce fer cru prend alors un certain degré de malléabilité, se rapproche de la nature du fer forgé, devient un peu soudable et se comporte à la trempe comme l'acier *le plus mou*.

Plus on la tient long-temps en bain, en la soumettant à l'action lente de l'air atmosphérique, et plus on augmente sa résistance et sa malléabilité; cette opération ne peut devenir néanmoins une méthode d'affinage, à cause de la grandeur du déchet, de la difficulté de renouveler toujours

la surface du bain et principalement à cause de la mauvaise qualité du produit.

145. La fonte grise liquéfiée à l'abri de l'air et refroidie lentement, conserve toutes les propriétés qu'elle avait avant la fusion. Si elle est couverte d'une couche de charbon, elle paraît, après son refroidissement, avoir pris une couleur un peu plus foncée. On peut la fondre à plusieurs reprises sans changer sa nature; mais si on la refroidit subitement en la projetant sur une plaque froide ou sur un sol humide, elle devient blanche, dure et aigre. Ce changement est d'autant plus complet que le refroidissement est plus subit. La granulation et l'arrosage avec de l'eau, sont les moyens les plus efficaces qu'on puisse employer pour parvenir à ce but; c'est par cette raison que les objets coulés en fonte grise, dans un sable humide, sont blancs vers les bords et gris au centre de la cassure: cet effet n'a point lieu dans les gros objets, parce que la masse de la fonte est trop considérable pour se figer subitement, même sur les bords. Les objets minces, fabriqués dans les mêmes circonstances, présentent souvent une cassure entièrement blanche. Si la fonte grise, en masse épaisse, a été refroidie avec lenteur et jusqu'à ce que la surface soit devenue rouge-brun, et si on la jette ensuite dans l'eau froide, pour accélérer le refroidissement, la cassure de la fonte présentera un aspect contraire à celui dont il a été question: c'est le noyau qui, dans ce cas, s'est changé en fonte blanche, tandis que l'enveloppe est restée grise; parce que le noyau était encore à l'état liquide, lorsque le refroidissement subit a été opéré par la trempe.

146. *La fonte blanche*, soumise aux températures élevées, se conduit différemment; exposée au contact de l'air et à l'action de la chaleur au-dessous du point de fusion, elle perd sous la couche d'oxide sa texture rayonnante et sa couleur blanche; elle devient grenue, grisâtre, douce,

malléable, et se rapproche de l'acier. On peut hâter cet effet, en l'enduisant d'une substance infusible et poreuse, afin de la préserver du contact immédiat de l'air atmosphérique, sans empêcher le fluide de pénétrer en petite quantité jusqu'au métal. Mais dans le cas même qu'elle fût parfaitement abritée de l'air, elle éprouverait ces changemens dans sa texture, quoiqu'avec plus de lenteur, si toute fois elle n'est pas lamelleuse. La poussière de charbon peut servir d'enveloppe; le graphite convient davantage, mais on doit lui préférer la chaux, l'argile réfractaire, la calamine, les cendres et particulièrement les cendres d'os: ces différentes matières ont pour but de diminuer la formation de l'oxide ou l'influence de l'air sur le métal. La fonte grise éprouve ces modifications à un degré beaucoup plus faible, sur-tout lorsqu'elle est enveloppée dans la poussière de charbon.

147. La fonte blanche, exposée à une chaleur lente avec ou sans enduit, devient très-réfractaire. Une chaude faible et de peu de durée, ne produit ce changement qu'à la surface. Si alors on élève la température, le noyau intérieur, qui ne change point de nature, est mis en fusion; et la couche d'oxide, sous laquelle se trouve une couche d'acier malléable, restant à l'état solide, laisse sur la sole du four, une enveloppe creuse qu'on appelle *carcas*. Liquéfié, ce fer cru présente en général des propriétés variables selon les circonstances de la fusion. Si la chaleur a été prolongée long-temps, la fonte sera épaisse et matte en sortant du foyer; après le refroidissement, elle aura de la douceur, une texture grenue, une couleur grisâtre dans la cassure, un peu de malléabilité, et elle se rapprochera de l'acier: en cet état, elle est si peu fusible qu'on ne peut la liquéfier à la température de la fusion du fer cru. Si, au contraire, le coup de feu a été fort et soutenu, il se forme peu d'oxide, la fonte est bien plus liquide, et après le refroidissement, reparaissent sa cassure rayonnante et sa

couleur blanche. Il en sera de même, si elle est fondue dans des creusets sans le contact de l'air atmosphérique, ou dans les *cubilots*, au milieu des charbons.

Elle entre plus tôt en fusion que la fonte grise et devient très-liquide dans le foyer; mais elle s'épaissit au moindre abaissement de température. Si l'on dirige sur le bain, le jet d'air d'une forte machine soufflante, on peut aussi la convertir entièrement en scories. L'action lente de l'air atmosphérique lui fait éprouver les mêmes changemens qu'à la fonte grise (144), mais ces changemens arrivent plus vîte, de sorte qu'elle devient plus tôt malléable; elle est d'ailleurs plus disposée à prendre les propriétés de l'acier que celles du fer.

148. Puisque la fonte blanche conserve ordinairement sa couleur en une seconde fusion, on a cru long-temps qu'on ne pouvait la changer en fonte grise. Il suffit pourtant d'élever la température à un haut degré et de retarder la congélation, pour changer la fonte blanche en fonte parfaitement grise, non seulement dans les fourneaux à cuve, mais aussi dans des creusets d'argile comme dans des creusets brasqués. Ce changement n'a pas lieu lorsque la température ne s'est guère élevée au-dessus du point de liquéfaction et lorsque le refroidissement de la fonte liquide s'est opéré avec trop de rapidité. Mais nous pouvons affirmer que toute espèce de fonte blanche, sans en excepter la fonte blanche lamelleuse et même les flosses caverneux, se change en fonte grise, par une seconde fusion, dans des creusets d'argile et par l'emploi d'une chaleur très-intense, suivie d'une lente congélation.

149. En résumé, voici quelles sont les différences essentielles entre ces deux espèces de fer cru, soumises aux températures élevées. La fonte grise ne se couvre pas aussi vite d'une couche d'oxide pendant le grillage; elle conserve plus long-temps sa première nature, mais elle finit par

devenir poreuse; loin de prévenir cet état d'incohérence, à l'aide d'un enduit, on l'augmente encore, si c'est de la poussière de charbon qu'on fait usage. Elle demande un plus haut degré de chaleur pour entrer en fusion, devient plus liquide que la fonte blanche et exige plus de temps et une plus forte influence de l'air pour prendre un certain degré de malléabilité.

La fonte blanche se couvre plus vite d'une couche d'oxide, perd plus tôt sa nature de fonte et devient alors douce, grenue, grisâtre et aciéreuse: si on l'enduit d'une substance poreuse, on accélère ces changemens. A l'état pâteux, elle ne demande qu'une faible influence de l'air pour acquérir de la malléabilité. Elevée rapidement au point de fusion, elle conserve sa nature de fonte et sa liquidité, quoiqu'elle s'épaississe très-vite en sortant du foyer; refroidie, elle possède encore sa dureté, son aigreur, sa texture et sa couleur. Si on la jette dans un moule, son aigreur augmente à tel point que les objets coulés se brisent avant le refroidissement. Si au contraire la chaleur de la fusion était très-intense et le refroidissement très-lent, elle perdrait sa texture, sa dureté, son aigreur et sa couleur blanche, deviendrait grenue, douce et grise, ou plutôt elle se changerait en fonte grise.

150. Bien que l'une et l'autre espèce de fonte puissent acquérir de la malléabilité dans les températures élevées et par l'influence de l'air, elles présentent sous ce rapport des résultats très-différents. Chauffée au-dessous du point de fusion, la fonte grise ne change guère; elle devient très-tard un peu malléable, sans que sa résistance en soit beaucoup augmentée; tandis que la fonte blanche devient tellement malléable qu'on peut l'étirer en barres. Elle est alors susceptible de prendre la trempe, au point qu'elle peut servir à la confection d'instrumens tranchans de toute espèce.

151. Il est presque impossible de méconnaître l'analogie qui existe entre l'acier trempé et la fonte blanche, aussi bien qu'entre l'acier non trempé et la fonte grise, quand on les considère dans les températures élevées. L'acier trempé devient doux et prend une couleur plus foncée, lorsqu'il se refroidit lentement, après la chaude; la fonte blanche se conduit de la même manière, et les changemens qu'elle éprouve sont encore plus marqués. L'acier non trempé, chauffé et refroidi subitement, devient aigre et prend une couleur blanche; la fonte grise présente la même apparence lorsqu'elle est refroidie subitement après la chaude, mais d'une manière moins frappante qu'après la fusion. La fonte blanche reste blanche, si elle se refroidit subitement après la fusion; la fonte grise le devient si le refroidissement est subit; elle reste grise, si elle se congèle lentement, et l'autre le devient dans la même circonstance. L'acier trempé reste blanc et dur après un refroidissement subit; et l'acier non trempé conserve sa ductilité et sa couleur foncée s'il est refroidi avec lenteur. L'analogie est donc parfaite et les phénomènes ne diffèrent que par le plus ou le moins.

152. Il résulte des diverses propriétés du fer cru que c'est la fonte grise qui convient le mieux pour une seconde fusion; elle acquiert plus de liquidité, ne subit pas d'aussi fortes modifications par l'influence de l'air atmosphérique, remplit mieux les moules, fige moins vîte, donne des objets moins durs et plus résistans, enfin elle présente moins de déchet que la fonte blanche. Cette dernière conserve à la seconde fusion sa dureté et son aigreur, à moins que la température ne soit élevée au plus haut degré, ce qui entraîne une foule d'inconvéniens et ajoute encore à l'incertitude des résultats. Ces principes recevront par la suite un plus grand développement, et alors il sera question des cas d'exception à la règle.

On doit avoir soin, pendant l'opération, de préserver le métal de l'action du vent autant qu'il est possible, et d'élever la température avec rapidité, jusqu'au point de fusion. Si l'on opère dans les creusets, il faut les luter, ou ce qui vaut mieux encore, couvrir la fonte d'une couche de substance vitrifiable; c'est un moyen certain de la défendre contre l'influence de l'air, et de lui conserver toute sa liquidité, etc. Si on la refond dans un fourneau, au milieu des charbons embrasés, on doit craindre d'employer un vent trop faible, dont l'action incertaine et lente produit un déchet considérable, et altère les propriétés du fer cru.

Le défaut de chaleur est encore plus préjudiciable dans les fours à reverbère; non-seulement la fonte grise peut perdre, avant de se fondre une partie de sa ténacité, (144) mais parvenue au point de fusion, elle présente une couleur rouge, reste épaisse et coule lentement du foyer; après le refroidissement, elle est noire dans sa cassure et plutôt écailleuse que grenue, possède un peu de malléabilité et n'offre plus qu'une faible résistance: ce sont les écailles prises séparément qui paraissent être malléables, mais elles manquent de cohérence entre elles. Exposée très-longtemps à cette faible température, la fonte rouge de chaleur se change en une matière pulvérulente qu'on ne peut plus mettre en liquéfaction; fondue rapidement et tenue en bain, elle devient au contraire plus résistante et plus douce, et sa couleur s'éclaircit en même temps.

On ne doit jamais refondre la fonte blanche au four à reverbère: dans les circonstances les plus favorables (lorsque la fusion est rapide), elle donne toujours un produit aigre, en subissant un déchet considérable: dans le cas contraire, le déchet augmente encore, la fonte cesse d'être coulante et ne remplit point les moules.

153. La surface des objets coulés, lors même que la fonte est très-grise, possède souvent une grande dureté due

au refroidissement subit, qui provient de l'humidité des moules. Cet inconvénient n'a rien de fâcheux, sous le rapport de leur aspect; la fonte étant devenue blanche et plus compacte, la surface de ces objets paraît plus belle; mais ils deviennent cassans et difficiles à travailler au ciseau, à la lime, au foret et sur le tour. On a donc cherché à remédier à cet inconvénient. Réaumur fit de nombreux essais pour adoucir la fonte et lui donner un plus haut degré de ténacité. On ne peut douter qu'un simple recuit ne conduise à ce but, mais il ferait naître une épaisse couche d'oxide, qu'on diminue en couvrant la surface du fer cru d'une substance poreuse.

Réaumur recommande pour enduit le graphite, et Rinman les cendres d'os. Le premier de ces auteurs attachait le plus haut prix à l'art d'adoucir la fonte; il espérait que l'industrie en tirerait un avantage considérable, qu'une grande partie d'objets fabriqués aujourd'hui en fer forgé pourraient l'être par la suite en fer cru; mais cette opération n'est pas sans inconvéniens; la fonte grise peut perdre de sa résistance, et la fonte blanche se couvre quelquefois d'une forte couche d'oxide. Cependant, dans certaines circonstances, on doit adoucir à la surface les objets coulés. Il suffit alors de le recuire avec un enduit quelconque: le sable quartzeux même peut servir à cet effet *.

154. Si l'adoucissement du fer cru n'avait d'autre but que d'ôter aux objets coulés la dureté à la surface provenant du refroidissement subit, il suffirait de les griller dans la

* Quand les pièces coulées sont minces, on fait toujours bien de les adoucir. En Angleterre on les recuit à cet effet, pendant 36 heures, dans la poussière de coke. J'ai vu traiter de cette manière différens objets, et même des ustensiles culinaires, qu'on expédiait en Espagne et en Italie. Adoucis, ils étaient ensuite tournés à l'intérieur, étamés et recouverts à l'extérieur d'un vernis. Ces vases en fonte étaient à la fois très-légers et très-solides.

poussière de charbon, ou bien dans la craie, les cendres d'os, etc., en donnant toutefois un degré de chaleur élevé et soutenu. Mais on ne parvient alors qu'à ramollir leur enveloppe qui a été convertie en fonte blanche; si l'on désire, au contraire, que la pièce entière devienne non-seulement douce, mais aussi malléable et plus tenace, on n'y parviendra qu'imparfaitement par l'emploi de la fonte grise. Au lieu d'un objet doux, malléable et solide, on n'obtiendrait qu'une matière poreuse, qui bien que douce et malléable, ne pourrait guère résister au choc et offrir les qualités réquises. Dans ce cas, lorsque par économie on ne veut employer ni le fer, ni l'acier, on doit se servir de la fonte blanche, comme par exemple pour la fabrication de couteaux, de clous, de ciseaux, de fers à cheval, etc.

La fonte blanche grillée *hors du contact de l'air* prend toutes les propriétés de l'acier: elle devient douce, acquiert une couleur matte et une cassure grénue. Chauffée ensuite et refroidie subitement, elle se durcit au point que la lime ne peut l'attaquer; chauffée de nouveau, elle reprend sa ductilité, et ne diffère en général de l'acier que par un moindre degré de résistance. Au reste elle n'éprouve aucune perte de poids par l'adoucissement, à moins qu'on n'emploie la craie ou la sanguine pour enduit.

L'expérience démontre qu'une température modérée et continuée long-temps ne produit pas de meilleurs résultats pour l'adoucissement du fer cru, qu'une chaleur très-forte, dont l'intensité et la durée doivent être proportionnées à l'épaisseur des pièces.

L'oxide de fer, et après lui la craie, produisent un effet plus prononcé que ne le ferait toute autre matière; mais il paraît que cet effet n'est que trop rapide, parce que la fonte prend un grain très-gros, suite d'une trop forte action de ces corps. La meilleure substance est un mélange de cendres d'os et de poussière de charbon: les premières ne semblent

servir que pour augmenter la densité du mélange. Il est hors de doute que plus tard on ne fasse un usage très-fréquent de l'adoucissement *de la fonte blanche.*

Le fer cru obtenu par la fusion de riblons d'acier ou de fer ductile, avec addition de poussière de charbon, donne une fonte blanche qui s'adoucit parfaitement. La fonte mêlée qui contient peu de graphite à l'état libre, convient aussi très-bien pour la fabrication d'objets coulés qu'on veut adoucir.

DE L'ACTION DE L'OXIGÈNE SUR LE FER.

155. En examinant le fer dans les températures élevées, on ne pouvait passer sous silence les changemens qu'il éprouve par l'influence de l'air atmosphérique: c'est l'examen de sa manière d'être, lorsqu'il est soumis à la chaleur tantôt avec tantôt sans le contact de l'air, qui répand le plus de lumière sur la nature de ce métal, considéré dans ses trois états différens.

A une basse température et dans un air sec, il ne subit aucune modification; son affinité pour l'oxigène ne se manifeste qu'à un certain degré de chaleur.

On ne peut révoquer en doute que les couleurs du recuit (114) ne soient un effet de l'oxidation, mais on ignore la nature de cette combinaison avec l'oxigène. Ces couleurs répandues comme un léger souffle sur la surface du métal, échappent à toutes les opérations de la chimie. Elles disparaissent avant la chaleur lumineuse, et avec elles disparaît aussi l'éclat métallique. Le fer est alors couvert d'une enveloppe grise qu'il porte toujours. Nous ne savons pas si cette enveloppe et les couleurs du recuit sont dues à un état d'oxidation particulier. Il nous est également impossible d'indiquer avec certitude la cause de la fragilité que le fer acquiert, lorsque, dans les chaudes et sous la

couche d'oxide, il est exposé long-temps à l'action de l'air. Serait-ce l'effet d'une légère oxidation?

Les taches jaunes et bleues qu'on voit dans la cassure des fers dits brûlés, sont entièrement semblables aux couleurs du recuit de la deuxième série. Une ou plusieurs chaudes suantes, sans le contact de l'air, suffisent ensuite pour lui rendre sa première qualité; ce fait incontestable viendrait à l'appui de cette supposition.

L'expérience nous prouve aussi que le fer ductile, exposé long-temps à la chaleur blanche, mais à l'abri de l'air, ne change point. Si, au contraire, il n'est pas entièrement dérobé à l'action de l'air, sa surface se couvre d'une couche d'oxide qui le préserve des progrès de la combustion, sans pouvoir cependant le défendre complétement de l'influence de l'air; et alors il perd sa ténacité et devient cassant: la couche d'oxide agit dans ce cas de la même manière qu'un enduit poreux quelconque. Il semble résulter de tout cela, que la mauvaise qualité du fer brûlé (126, 130) est due à un changement de texture provoqué par l'oxidation à la surface des facettes qui se forment dans la masse.

156. Les *battitures*, *paillettes* ou *écailles*, qui ne se produisent sur le fer qu'à la chaleur lumineuse, depuis le rouge jusqu'au blanc, constituent un oxide dont le degré d'oxidation n'est pas encore parfaitement connu.

157. L'oxidule de fer n'a pas été trouvé à l'état libre dans la nature; on ne l'obtient que par des moyens artificiels, et malgré les précautions employées, il est souvent encore souillé d'oxide. On le produit en faisant passer des vapeurs d'eau à travers des tubes rougis, contenant du fer métallique. C'est le procédé de M. Bucholz. Ce corps a une couleur noire et un fort éclat; il fond en une masse poreuse noire et brillante, qui ressemble plutôt à l'émail qu'au verre.

M. Stromayer vient de l'obtenir d'une autre manière,

en réduisant l'oxide rouge à l'aide de l'hidrogène, à un degré de température un peu au-dessous de la chaleur rouge. L'oxidule obtenu est parfaitement pur, possède une couleur noire bleuâtre, qui, exposée directement à la lumière, paraît entièrement noire. Il communique au verre une couleur bleue, s'allume spontanément à l'air libre et se change en oxide rouge. C'est le seul moyen d'obtenir l'oxidule parfaitement pur. La nature ne peut nous l'offrir en cet état, parce qu'il manque de permanence. D'après M. Berzelius, 100 parties de fer métallique se combinent avec 29,47 parties d'oxigène pour former l'oxidule; ou, ce qui revient au même, il se compose de 77,23 de fer et 22,77 d'oxigène. On sait que M. Berzelius admet que l'oxidule contient un atôme de fer et deux atômes d'oxigène *.

158. M. Berthier ayant analysé des battitures de plusieurs forges, pense qu'elles sont composées de trois atômes de fer et de sept atômes d'oxigène, qu'elles contiennent par conséquent 25,4 de ce gaz, et 74,6 de fer. Ce chimiste fait observer que si l'on ne veut pas les regarder comme un oxide particulier, on doit admettre qu'elles contiennent deux atômes d'oxidule et un atôme d'oxide.

M. Mosander a prouvé depuis que les battitures ne constituent pas un corps homogène; mais qu'elles se composent en général de deux couches parallèles, dont celle qui est à l'extérieur contient plus d'oxigène que n'en renferme la couche tournée vers la masse métallique; de plus, que les quantités d'oxigène ne sont pas constantes, et qu'elles augmentent dans les deux couches, à mesure que le fer est exposé plus long-temps à l'action de la chaleur et de l'air. Cet auteur a trouvé dans la couche intérieure 75,2573 de fer et 24,7425 d'oxigène, et dans la couche

* D'après son ancienne manière de compter. Maintenant M. Berzelius admet que l'oxidule est composé de 1 atome de fer et de 1 atome d'oxigène. Le T.

extérieure à peu près 73 de fer et 27 d'oxigène. Il paraît résulter aussi de ses expériences que le rapport entre les composans doit varier avec l'épaisseur des couches, et que des battitures très-épaisses peuvent offrir plus de deux couches, dont la composition change avec le degré de chaleur qui a servi à les produire, avec la durée et la continuité de la chaude.

L'accroissement de l'oxigène dans la couche extérieure est dû à l'influence de l'air sur l'oxide primitif qui constitue probablement les battitures les plus minces. Mais les expériences de MM. Berthier et Mosander ne nous expliquent point la nature de cet oxide; elles prouvent seulement qu'il diffère de l'oxidule. Est-il composé de deux atômes d'oxidule et d'un atôme de péroxide, ou l'est-il, d'après M. Mosander, de trois atômes d'oxidule et d'un atôme de peroxide? voilà ce qui reste abandonné à de nouvelles recherches. Il est certain toutefois que ces battitures ou écailles forment un composé particulier d'oxidule et d'oxide, tel qu'on ne l'a pas encore trouvé dans la nature. Si la composition annoncée par M. Berthier se vérifiait, il serait permis de les regarder comme un oxide particulier, ce qui ne pourrait avoir lieu, d'après les résultats de M. Mosander.

159. Exposées à la plus forte chaleur, au-dessus même du point de fusion de la fonte, les battitures s'aglutinent seulement en une masse poreuse et frittée, ressemblant à l'émail; mais traitées dans le creuset d'argile, ou bien mises en contact avec la silice d'une autre manière, elles deviennent très-fusibles et forment alors une matière plus ou moins vitrifiée, comme les scories de forge qui ne diffèrent des battitures que par un contenu de silice. C'est pour cette raison que les scories, quoique bien plus faciles à liquéfier que les battitures, se réduisent plus difficilement. Si la silice s'y trouve en quantité convenable, elles forment un verre noir extrêmement fusible.

160. Des battitures grillées long-temps et dont la surface est fréquemment renouvelée, se changent peu à peu en une poudre brun foncé d'abord et qui passe ensuite par une foule de nuances au rouge brunâtre, jusqu'à ce qu'elles soient converties entièrement en péroxide, connu dans la pharmaceutique sous le nom de *crocus martis astringens.* En cet état, le fer est combiné avec le maximum d'oxigène qu'il peut recevoir. Sa composition atomistique serait, d'après M. Berzélius, 3 atômes d'oxigène et 1 de fer. Il contient 69,34 parties de fer et 30,66 d'oxigène.

Le péroxide, ainsi que l'oxidule, est répandu abondamment dans les trois règnes de la nature; le premier se trouve pur et doué souvent d'une si grande dureté qu'il fait feu au briquet: on s'en sert pour polir l'acier. Le péroxide est permanent à la chaleur rouge et même aux premiers degrés de la chaleur blanche. A une température plus élevée, il abandonne une partie de son oxigène et se change en oxidule, surtout lorsqu'il est en contact avec la silice. C'est pour cette raison qu'on ne peut combiner avec le péroxide, que des flux vitreux très-fusibles. Il leur donne alors une couleur jaune, tandis que l'oxidule colore les matières vitreuses en vert, brun, noir et même en bleu, quand il est en petite quantité.

161. Les auteurs varient considérablement sur l'augmentation de poids que le fer éprouve en s'oxidant. Il est indubitable que le fer forgé contient plus de fer pur que l'acier, et celui-ci plus que la fonte; mais c'est un moyen très-défectueux que d'en vouloir déterminer la quantité en les oxidant et en comparant le poids des oxides entre eux, ainsi qu'à celui des métaux: dans cette opération, on ignore toujours ce que deviennent les matières étrangères, et elles doivent nécessairement influer sur le poids des oxides. Ajoutons à cela, que les contradictions nombreuses des auteurs anciens ne peuvent même s'ex-

pliquer par la différence de la quantité de fer pur contenu dans ces trois métaux*.

162. Les chimistes ne peuvent pas encore s'accorder sur les états d'oxidation du fer. Le protoxide passant à l'état de péroxide, subit dans son poids une augmentation graduelle. M. Berthollet en a conclu que le nombre des oxides était égal à celui de ces augmentations successives. D'autres chimistes firent observer que ces oxides de M. Berthollet ne sont que des mélanges d'oxidule et d'oxide dans des proportions variables à l'infini; puisque toute la masse ne peut passer que par partie au summum d'oxidation. Telle est l'opinion de Proust, de Bucholz, de Berzelius, etc.; tous les chimistes l'ont adoptée depuis, avec d'autant plus de raison qu'une foule de mélanges semblables existent dans la nature, et que partout on voit les combinaisons suivre des lois constantes.

Il existe aussi des chimistes, qui sans adopter le système des proportions variables, croient que le fer est susceptible de s'oxider à plus de deux degrés. Ces chimistes regardent effectivement les battitures comme le 2^{me}, et le fer magnétique comme le 3^{me} degré d'oxidation. D'après cette manière de voir, le protoxide serait composé de 77,23 de fer et de 22,77 d'oxigène; le deutoxide (battitures), de 74,6 de fer et de 25,4 d'oxigène; le tritoxide (fer magnétique), de 71,785 de fer et de 28,215 d'oxigène; enfin le péroxide ou l'oxide rouge, de 69,34 de fer et de 30,66 d'oxigène. Ils donnent pour raison de leur manière de voir, que les deux degrés intermédiaires se trouvent dans la nature en proportion constante et que le tritoxide forme d'ailleurs la

* La qualité du fer est si variable que l'on ne trouve jamais deux échantillons entièrement semblables; il s'ensuit que sa composition doit varier aussi, et ce qu'on dit du fer forgé s'applique à plus forte raison au fer cru. Il n'est pas étonnant, d'après cela, qu'il y ait si peu d'harmonie entre les résultats obtenus par les divers auteurs. Le T.

base de plusieurs sels. Ces opinions diverses, fort indifférentes pour la pratique de la métallurgie, sont d'une haute importance pour la théorie. Il ne sera donc pas déplacé d'indiquer les compositions atomistiques qui s'y rapportent. D'après cela :

L'oxidule serait composé	d'un atôme de fer et de 2 atômes d'oxigène, ou de 3 atômes de fer et de 6 atômes d'oxigène.
Les battitures.	de 3 atômes de fer et de 7 atômes d'oxigène, ou de 2 atômes d'oxidule et d'un atôme d'oxide.
Le fer magnétique. . . .	de 3 atômes de fer et de 8 atômes d'oxigène, ou d'un atôme d'oxidule et de 2 atômes d'oxide.
Enfin le peroxide. . . .	d'un atôme de fer et de 3 atômes d'oxigène, ou de 3 atômes de fer et de 9 atômes d'oxigène.

Cent parties de fer seraient donc combinées dans ces quatre degrés d'oxidation avec 29,47 parties, avec 34,39, avec 39,30 et avec 44,25 d'oxigène.

163. Le protoxide est attirable à l'aimant, tandis que le peroxide pur ne l'est aucunement. Plusieurs auteurs ont cru cependant que le peroxide exerçait une légère action sur l'aiguille aimantée; ils sont tombés dans cette erreur, en examinant des mélanges ou des combinaisons d'oxides dont la nature nous offre beaucoup d'exemples *.

* Les intéressantes expériences de Hauy, citées dans le deuxième tome des Annales des Mines, page 329, pourraient faire croire au premier abord, que le peroxide de fer même est sensible à l'aimant, lorsqu'on a soin de le griller d'abord et de diminuer la résistance provenant du frottement de l'aiguille, en combinant son action avec celle d'un barreau aimanté; mais il faut se rappeler qu'aucune de ces expériences n'a été faite sur un oxide artificiel parfaitement pur, comme par exemple, le rouge de Colcotar, et que même plusieurs morceaux de fer oxidé pulvérulent, n'ont donné aucun signe de magnétisme: il est donc assez probable que les hématites qui agissaient sur l'aiguille, contenaient une certaine quantité de protoxide. C'est parce que les oxides les plus purs offerts par la nature, sont toujours mélangés ou combinés avec une petite dose de fer oxidé au premier degré, que l'aiguille aimantée peut servir à constater la présence de ce métal dans les minérais. Le T.

DE L'ACTION DE L'EAU SUR LE FER.

164. L'eau parfaitement pure et dégagée d'air n'agit sur le fer qu'à la température de 80 degrés de Réaumur, et son action est encore très-lente. Elle est presque instantanée, lorsque le fer rouge de chaleur est arrosé d'eau. L'oxide obtenu par la décomposition de ce liquide varie quant au rapport de ses parties constituantes, qui sont toujours l'oxidule et le peroxide.

D'après les expériences de M. Gay-Lussac, on ne peut oxider le fer au maximum par la décomposition de l'eau; on ne produit que l'oxide contenant sur 100 parties de fer 37,8 d'oxigène: composition qui se rapproche de celle du fer magnétique, ce qui tend à faire croire qu'il forme un état d'oxidation particulier.

L'oxide obtenu par la voie humide est employé comme matière médicale; car celui qui est formé par l'action combinée de la chaleur et de l'air atmosphérique, n'est ni assez fin, ni assez pulvérulent pour les préparations pharmaceutiques. Ce mélange porte le nom d'*éthiops martial*. Le peroxide chauffé avec de l'huile ou d'autres substances combustibles, donne aussi de l'éthiops martial.

165. Westrumb a prouvé contre Landriani et Girtanner que l'eau pure n'exerce aucune action dissolvante sur le fer ni sur les oxides; c'est seulement l'eau qui n'est pas encore entièrement purgée d'air qui attaque le fer à la température ordinaire, sans toutefois dissoudre l'oxide.

166. La limaille de fer arrosée long-temps avec de l'eau, passe de la couleur noire au brun rougeâtre, et par conséquent au maximum d'oxidation. Cette poudre séchée et recuite donne, d'après Berzélius, 85,3 pour cent d'oxide rouge qui n'est nullement attirable à l'aimant. La perte de 14,7 n'est que de l'eau pure. Il s'ensuit que le peroxide

peut se combiner avec l'eau dans une proportion telle que l'oxigène de celle-ci est la moitié de l'oxigène contenu dans l'oxide; ce corps s'appelle *hydrate de fer*. On peut l'obtenir aussi en précipitant l'oxide de fer d'une dissolution, à l'aide de l'ammoniaque caustique, et en laissant digérer le précipité dans l'alkali volatil. Par ce procédé on obtiendra des hydrates dont les parties constituantes ne s'écarteront point des proportions de Berzélius. La quantité d'eau combinée avec l'oxide, ne doit pas être confondue avec celle qui lui est adhérente et qui se dégage déjà à la chaleur de l'ébullition. Les hydrates naturels s'appellent fer brun, il s'en trouve qui sont d'une grande pureté.

167. Bien qu'il existe un hydrate d'oxidule, on ne peut le produire, parce qu'il n'est point assez permanent. Les précipités blancs des sels de protoxide, traités par les alkalis caustiques, sont de véritables hydrates de protoxide qui, au moindre contact de l'air, se colorent successivement en gris, en vert, en bleu foncé et en jaune. Les précipités colorés de cette manière sont des combinaisons d'hydrate, de protoxide et d'hydrates de péroxides qui, à l'air libre, passent au summum d'oxidation.

Les hydrates naturels, qui sont très-répandus, contiennent de l'eau en proportions variables. Ils sont insolubles dans ce liquide. Si l'hydrate blanc est soumis à la chaleur de l'ébullition en vase clos, il prend la couleur propre à l'oxidule, parce que l'eau se dégage.

DE L'INFLUENCE DE L'AIR HUMIDE SUR LE FER.

168. Si l'air parfaitement sec ne commence son action sur le fer qu'à la température où se manifestent les couleurs du recuit, il n'en est pas de même lorsqu'il est chargé d'eau. Une expérience journalière nous prouve que ce métal exposé à l'air humide, se couvre bientôt d'une couche

jaune appelée *rouille :* elle est due à l'action combinée de l'eau et de l'air; il suffirait de sa couleur pour prouver la présence de l'eau. Les opinions sur la rouille sont encore partagées. Sa composition, d'après Bergman, serait : acide carbonique 24 parties, oxide de fer 76; ce qui paraît inexacte. Hausmann la croit composée d'eau et d'oxide; Thomson, d'eau et de sous-carbonate de fer. Il est certain qu'elle constitue un hydrate. M. Vauquelin a prouvé que la rouille, ainsi que tout autre corps poreux, peut absorber un grand nombre de substances qui se trouvent dans l'atmosphère, sa composition est donc très-variée.

169. La rouille paraît moins vîte sur la fonte blanche que sur l'acier et sur la fonte grise. Le fer forgé, et sur-tout le fer rouverin, en sont attaqués le plus promptement. Le fer tendre lui résiste davantage. L'air sec et le poli des surfaces sont les meilleurs moyens d'en éviter les fâcheux effets : les endroits poreux, les cavités, les cendrures se rouillent d'abord. La nature des substances avec lesquelles on polit le fer, influe aussi sur la durée du poli. Les objets sont préservés de la rouille par des enduits de corps gras, tels que l'huile d'olive purifiée, et en général toutes les huiles qui ne contiennent point d'eau et qui ne s'épaississent pas à l'air; on peut employer pour cet effet l'huile de noix, de faîne, et d'après M. Conté, un mélange d'un cinquième de vernis gras et de quatre cinquièmes d'huile de thérébentine rectifiée. Le meilleur préservatif est, d'après M. Aïkin, le caoutchouc qui, dissous dans l'huile de thérébentine, donne un vernis qu'on applique très-vîte et qu'on ôte facilement avec une brosse imbibée de cette huile chauffée. La surface des objets en fer et en acier, débarrassée de ces enduits, reprend ensuite tout son éclat.

170. Lorsqu'il n'est pas nécessaire de conserver au métal sa couleur et son éclat, on le couvre d'un vernis et souvent même d'une couche de goudron, qu'on fait sécher à l'air

ou brûler. Ce dernier moyen ne s'emploie guère que pour les gros objets. L'art de vernir le fer est parvenu depuis peu de temps, à un haut degré de perfection. Une autre méthode de le protéger contre la rouille, c'est de le bleuir (113 et suiv.). On ignore la raison en vertu de laquelle les surfaces bleuies résistent davantage. Le bronzage enfin remplit le même objet; il consiste à enduire la surface du fer de substances corrosives, d'acides, principalement d'acide hydrochlorique; à l'exposer plusieurs jours à l'air pour la couvrir de rouille sur tous les points; à l'enduire d'huile d'olive, et à la frotter ensuite, jusqu'à ce que le linge n'en soit plus taché. C'est à l'aide de ce procédé qu'on donne aux canons de fusils une assez belle couleur brune.

DE L'ACTION DU CHARBON SUR LE FER.

171. Le fer forgé mis en fusion sans le contact d'aucune substance étrangère, conserve toutes ses propriétés (134): fondu dans la poussière de charbon, il devient acier ou fonte, et dans ce cas, il se liquéfie à un degré de chaleur plus faible. Ce fait, dont on a reconnu la vérité depuis long-temps, en fabriquant l'acier cémenté, n'a pu conduire les anciens métallurgistes à une théorie sur la nature de l'acier et de la fonte. Bergmann fut le premier qui provoqua leur attention sur cet objet: Rinman, son digne successeur, fit usage de ce fait pour expliquer le passage du fer, d'un état métallique à un autre. Mais l'imperfection des connaissances chimiques d'alors, n'admettait point d'explication satisfaisante pour toutes les circonstances. Le phlogistique, élément essentiel des matières combustibles, conçu d'une manière vague, ne pouvait servir de base pour approfondir cette question. Ces deux savans se virent donc forcés d'adopter deux phlogistiques, l'un très-subtil et l'autre d'une nature plus grossière; le premier constituait l'élément ca-

ractéristique des combustibles, tandis que le deuxième n'était qu'une substance charbonneuse.

La révolution de la chimie, qui anéantit le système du phlogistique, jeta en France les premiers rayons de lumière sur les modifications du fer, dans ses trois états différens. Schéele avait déjà reconnu la plombagine comme une matière charbonneuse, en 1779; mais c'est aux chimistes français, Vandermonde, Berthollet et Monge, qu'on doit des analyses positives, qui ont répandu un grand jour sur la nature de cette substance énigmatique et sur les modifications qu'elle fait éprouver aux propriétes du fer. Depuis cette époque, la fonte et l'acier furent considérés par-tout comme des composés de fer et de charbon, ou de graphite dans des proportions très-variables; et l'on reconnut en même temps, que l'un devait en contenir une plus forte dose que l'autre, puisque l'acier se rapprochait de la nature du fer cru, en se chargeant d'une plus grande quantité de charbon.

Partant de ces principes, Clouët et Mushet se proposèrent d'obtenir au moyen de la fusion, des aciers de tous les degrés de dureté, selon la dose de carbone qui devait être employée dans l'opération. Mais bientôt ils durent s'apercevoir que les propriétés de l'acier ne pouvaient être déterminées *à priori;* que tantôt il devenait plus dur et tantôt plus mou qu'il ne devait l'être, d'après les proportions de charbon employé. Clouët voulut ensuite soumettre la nouvelle théorie à une rude épreuve, en formant de l'acier avec des corps qui ne contenaient le carbone qu'à l'état d'acide carbonique. Ces expériences, si elles s'étaient vérifiées, auraient changé la théorie, qui n'en aurait tiré aucun avantage, parce qu'elle connaît des moyens plus simples de préparer l'acier fondu. Mushet a montré ensuite que le changement éprouvé par le fer, lorsqu'on le fond sans addition de carbone et avec des terres ou des flux

vitreux, est semblable à celui qu'il subirait par la présence du carbonate de chaux.

Tiemann a fait voir d'un autre côté, que, dans la réduction des oxides ou des minérais de fer, à l'aide de la poussière de charbon, il fallait avoir égard à beaucoup de circonstances accessoires; que du reste, on obtenait selon les proportions de ce réactif, ou du fer affiné, ou de l'acier, ou de la fonte. Il répéta les expériences de Clouët et de Mushet; il en confirma une partie et en rectifia une autre. Quoi qu'il en soit, on peut affirmer qu'il existe des causes peu connues agissant d'une manière décisive sur les résultats. Parmi ces causes, il faut mettre en première ligne les variations de la température, qu'on ne peut graduer avec exactitude, et dont l'influence est si prononcée, particulièrement sur la nature du fer cru. Nous ne pouvons passer ici sous silence les expériences curieuses qui ont été faites à Paris, en 1799, par MM. Guyton-Morveau, Clouët, Welter et Hachette, dont le but était de changer le fer en acier par la fusion avec des diamans, et dont les résultats ont pleinement confirmé la théorie sur la composition de l'acier.

172. Si le changement du fer en acier, par une addition de carbone pur, avait besoin de nouvelles preuves, on pourrait citer les expériences décisives de M. Vismara de Pavie. Ce chimiste a cémenté le fer avec les gaz oléagineux qui se dégagent des substances grasses à la chaleur rouge. Il suffit que le vase qui renferme le métal et dans lequel on fait passer les gaz, soit porté à une température de 60 à 64 degrés de Wedgwood, pour qu'on obtienne un très-bon acier. Il s'est formé des établissemens en grand qui suivent ce procédé. Le carbone qui, à la fin de l'opération, n'est plus absorbé par le fer, s'y dépose en substance sous des formes très-variables.

173. Pour mieux juger de l'action du carbone sur le fer,

nous devons examiner surtout la matière charbonneuse qui se forme dans plusieurs circonstances et surtout dans la production de la fonte grise. Les praticiens la désignent sous le nom impropre *de limaille*. Toutes les expériences que l'on a faites sur ce corps ont confirmé son idendité parfaite avec la plombagine, ou le graphite naturel qui lui prête son nom. Chauffé en vaisseaux clos, au plus haut degré de chaleur, il ne subit aucune altération; on n'est pas encore parvenu à le fondre. A la température ordinaire, il est inattaquable par les acides, par les alcalies et généralement par tous les corps. Dans les températures élevées, il se conduit à l'égard de ces réactifs comme une substance charboneuse. Grillé fortement et à l'air libre, il brûle sans flamme et sans fumée. D'après les résidus de sa combustion, Schéele, Saussure et Gahn d'abord, plus tard, David Allen et Pepis ont conclu qu'il était composé de carbone et de fer. Leurs expériences prouvent qu'il ne contient pas une trace d'oxigène. On n'a pu s'accorder sur les proportions de fer qu'on lui supposait. Schéele l'a fixée à 10 p. %, Saussure à 4 p. % et Gahn à 7 p. %.

Maintenant il est hors de doute qu'on a été dans l'erreur sur la nature du graphite qu'on tire du sein de la terre et de celui qu'on obtient dans les hauts fourneaux. Des mélanges accidentels de fer qu'il contient, ont été regardés comme partie constituante essentielle. J'espère du moins avoir prouvé d'une manière convainquante que le graphite naturel dégagé de toute espèce de mélange, constitue un charbon pur, et que le graphite qui se sépare de la fonte est un véritable carbone, sous forme métallique.

174. Il suffit de considérer que le graphite se trouve seulement dans la fonte grise, que celle-ci peut devenir blanche par un prompt refroidissement; qu'enfin la fonte blanche devient grise, étant soumise à une haute température suivie d'une très-lente solidification: il suffit, disons-

nous, de considérer ces faits pour qu'on soit persuadé que ce n'est pas uniquement la quantité de carbone combinée avec le fer qui détermine les propriétés caractéristiques de la fonte, de l'acier et du fer ductile, et que ces propriétés dépendent nécessairement du mode de combinaison. Rinman a déjà remarqué que le graphite n'était pas une partie constituante essentielle du fer cru, que les mêmes fontes pouvaient en contenir ou en être entièrement dépourvues. Cependant on croyait que les différences entre la fonte grise et la blanche, entre l'acier dur, l'acier mou et le fer ductile, ne provenaient que de leur plus ou moins grande richesse en carbone. D'après cette manière de voir, Mushet a voulu déterminer les limites où le fer passe à l'état d'acier, celui-ci à l'état de fonte et enfin la fonte blanche à l'état de fonte grise. Il admet que la dureté du fer augmente avec le carbone qu'il contient jusqu'à $\frac{1}{25}$ de la masse; qu'à ce point, le métal possède une couleur blanche argentine et un tissu compact, et qu'ensuite sa dureté diminue, comme on peut le voir dans le tableau suivant:

DOSE DE CARBONE contenue dans le fer.	RÉSULTATS.
$\frac{1}{120}$	Acier fondu mou.
$\frac{1}{100}$	Acier fondu ordinaire.
$\frac{1}{90}$	Acier fondu un peu dur.
$\frac{1}{50}$	Acier fondu très-dur.
$\frac{1}{25}$	Fonte blanche.
$\frac{1}{20}$	Fonte mêlée.
$\frac{1}{15}$	Fonte très-grise.

Ces principes ont passé dans tous les traités de métallurgie; ils paraissaient fournir une explication simple et satisfaisante des propriétés du fer considéré dans ses divers états; mais ils sont tout-à-fait inexacts et n'ont servi qu'à retarder les progrès de la science. Ils ne peuvent expliquer comment, à égalité de teneur en carbone, le fer cru constitue tantôt un métal gris, doux et grenu et tantôt blanc,

dur, aigre et lamelleux; ni comment l'un peut se changer en l'autre.

L'inexactitude de cette hypothèse se montre d'une manière frappante, quand on voit la fonte blanche lamelleuse liquéfiée dans un creuset brasqué, ne pas augmenter de poids, et la fonte grise, traitée de la même manière, éprouver une augmentation considérable.

175. Plusieurs phénomènes dont il sera question plus bas, déterminèrent les chimistes Monge, Berthollet et Vandermonde à admettre l'existence de l'oxigène dans la fonte blanche. Il est probable qu'une légère différence de carbone leur parut insuffisante pour expliquer la différence considérable des propriétés de ces deux espèces de fer cru. Cette hypothèse ne les aurait point séduits, si leur attention se fût portée sur le mode de combinaison du carbone avec le fer dans l'une et l'autre espèce de fonte.

L'analyse n'a jamais découvert une trace de carbone *non altéré* ou de graphite dans la fonte blanche, si ce n'est dans de petites parties de fonte grise dont elle était souillée; tandis que la fonte parfaitement grise donne toujours une quantité beaucoup plus petite de carbone altéré par l'opération, et offre en même temps une assez grande quantité de graphite. Mais l'une et l'autre espèce de fonte n'ont jamais présenté une trace d'oxigène. L'acier ne donne que du carbone altéré et ne laisse point de graphite. Il en est de même du fer ductile, à la quantité de carbone près. Le fer ductile qu'on obtient en liquéfiant la limaille de fer avec 25 pour cent de battitures, ne contient point de carbone.

176. La différence que nous avons faite entre la teneur en graphite et la teneur en carbone paraîtra superflue, puisque nous avons montré (173) que le graphite n'est autre chose que le charbon métallique parfaitement pur. Mais nous ferons observer que par la dissolution de la fonte

dans les acides, on obtient le carbone tantôt en poudre, dans un état d'altération, et tantôt sous forme métallique en petites lames, constituant le graphite. Ces résultats différens prouvent que tout le carbone ne se trouve pas de la même manière dans le fer. Si l'on pouvait conclure d'un seul fait, on admettrait simplement que la fonte blanche, l'acier trempé et l'acier non trempé, ainsi que le fer ductile, appartiennent à une espèce et la fonte grise à une deuxième tout autre que la première. Mais l'analogie frappante qui existe entre l'acier trempé et la fonte blanche, ainsi qu'entre l'acier non trempé et la fonte grise (151), fait voir *que ceux des composés de fer et de carbone qui, dans le traitement par les acides, ne donnent point de graphite,* manifestent pourtant dans leurs propriétés des différences qui ne peuvent s'expliquer uniquement par la teneur en carbone.

Les changemens que subit l'acier trempé par les chaudes se montrent aussi dans la fonte très-blanche et à un degré beaucoup plus élevé (149, 154): grillée et devenue grise, douce, malléable, grenue parfaitement semblable à la fonte grise, au point qu'on la confondrait avec elle, si l'on ne connaissait son origine, cette fonte ne donne pas une trace de graphite par l'analyse; elle ne laisse dans le résidu que du carbone altéré. Cependant ce fer cru paraît différer de la fonte blanche, autant que la fonte grise ordinaire. On sera donc obligé de faire une subdivision entre les composés de fer et de carbone qui, par l'analyse, ne donnent point de graphite, et de distinguer les composés blancs, durs, et aigres (l'acier trempé et la fonte blanche), de ceux qui sont gris, doux et malléables (l'acier non trempé et la fonte blanche grillée). On jugera plus tard si cette subdivision se justifie aussi par les différens modes de combinaison du carbone avec le fer. On voit au reste que l'état de la combinaison n'est pas modifié aussi fortement par le grillage que

par la fusion. La fonte grise grillée et refroidie subitement devient un peu plus dure ; mais elle conserve ses propriétés caractéristiques, qu'elle perd seulement par la fusion suivie d'un refroidissement subit, et réciproquement la fonte blanche ne subit qu'une certaine altération par le grillage, tandis que par la fusion elle éprouve un changement complet.

177. Il paraît que le fer est saturé de carbone, quand il en contient 5,25 p. %; sa composition atomistique serait alors de 2 atômes de fer et 1 atôme de carbone. C'est la fonte blanche lamelleuse seule qui peut en contenir une si grande quantité.

A partir de ce point maximum, la fonte blanche renferme des quantités très-variables de carbone : à 4,25 p. % de carbone elle conserve sa texture. Au-dessous de cette limite la fonte devient grenue et d'une couleur grise qui s'éclaircit ensuite à mesure que la dose de carbone va en diminuant et que le métal, passant par une infinité du nuances, se change en fonte aciéreuse, en acier très-dur, en acier mou et en acier féreux. Les floss-caverneux renferment encore trois et demi pour cent de carbone et se conduisent comme l'acier très-dur et non trempé. Les changements qu'éprouvent la fonte blanche, l'acier et le fer aciéreux, quand on les grille au contact de l'air, s'expliquent très-bien par une diminution successive de carbone. Mais il reste encore à expliquer la conversion de l'acier trempé en acier ductile et celle de la fonte blanche en fonte douce et grise par le simple grillage hors du contact de l'air, et par conséquent sans diminution de carbone. Nous donnerons plus tard l'explication de ce phénomène remarquable.

Il peut arriver que la fonte blanche, fortement grillée à l'air et couverte alors d'une forte couche d'oxide, ne se laisse pas étirer, à moins qu'on ne l'arrose d'eau pendant le forgeage. Ce fait doit s'expliquer par la décomposition du

liquide et la combustion du carbone qui en résulte; en effet lorsque la couche d'oxide est devenue très-épaisse, il peut arriver un point ou l'effet du grillage seul soit presque nul. Il est nécessaire alors que le marteau et l'arrosage fassent tomber cette couche, afin que la combustion du carbone reçoive plus d'activité.

178. Les quantités de carbone contenues dans les divers aciers, exigeraient de nouvelles expériences pour être connues avec plus de précision: dans les aciers de forge et dans les aciers fondus que j'ai eu occasion d'analyser, cette substance variait entre 2,3 et 1,25 p. %; dans l'acier cémenté, je n'en trouvais jamais au-delà de 1,75 pour cent. Bergman, dans son intéressant mémoire *De analysi ferri*, fixe le maximum à 0,8 et le minimum à 0,2 pour cent. C'est probablement un acier cémenté qui lui a donné une si faible dose de carbone. D'un acier semblable, provenant de la Haute-Silésie, j'ai retiré 1,3 pour cent. Le fer pur ne devrait point contenir ce combustible; cependant il existe du fer qui en renferme jusqu'à 0,5 pour cent; alors il se rapproche de la nature des aciers. Tous les fers forts et durs sont dans ce cas; les fers les plus mous en retiennent encore 0,2 pour cent. Le fer dit brûlé ne m'a jamais donné une trace de carbone. M. Vauquelin fixe les quantités de carbone contenues dans les aciers de forges dont il a fait l'analyse, entre 0,63 et 0,79. On ne peut ajouter une très-grande confiance à ces diverses données, parce qu'il est très-difficile de doser avec précision le carbone contenu dans le fer.

179. La quantité de graphite que la fonte grise contient, varie, d'après mes expériences, entre 2,57 et 3,75 pour cent; mais elle renferme en outre du carbone que l'analyse donne toujours dans un état d'altération. La teneur totale en carbone que j'ai reconnue dans ce fer cru, variait entre 3,15 et 4,65. Elle est moins grande que celle de la fonte

blanche lamelleuse et de la plupart des autres fontes blanches qu'on tire des hauts fourneaux. C'est une nouvelle preuve que la quantité de carbone seule ne suffit point pour déterminer la différence entre les propriétés des deux espèces de fer cru. Comme le graphite ne peut se former qu'à la température la plus élevée, on obtient rarement de la fonte grise, dans les opérations en petit, lors même qu'on agit sur des minérais disposés à donner dans les hauts fourneaux cette espèce de fer cru.

180. Le passage rapide de la fonte grise en fonte blanche par une solidification subite, jointe à l'impossibilité d'un changement inverse sans l'emploi de la plus forte chaleur et sans une fusion suivie d'une très-lente congélation, nous prouvent avec la dernière évidence que le graphite ne se forme que dans les températures les plus élevées, et que formé déjà il ne peut subsister que par un lent refroidissement. Lorsque la masse liquide est solidifiée subitement, le carbone, au lieu de s'isoler et de présenter alors avec le fer une espèce de mélange, se combine avec le métal d'une manière plus intime et le change en fonte blanche. Si au contraire la congélation est très-lente, le carbone est séparé, probablement par l'effet de sa propre cristallisation et de celle des composés naissants, de sorte qu'il se forme de la fonte grise ou mêlée. Par le simple grillage, le carbone ne peut s'isoler que d'une manière imparfaite; il reste toujours uni avec une certaine quantité de fer, et forme alors des carbures particuliers qui restent interposés entre les parties métalliques.

181. Si donc la fonte grise ne contient pas plus de carbone que la blanche dont elle a été formée, et si la première renferme la majeure partie de son carbone *à l'état de mélange*, sous forme de graphite, il s'ensuit que la masse de fer dont elle se compose ne peut être *combinée* qu'avec une très-petite quantité de carbone, souvent

beaucoup plus petite que celle qu'on trouve dans l'acier. D'après cette composition de la fonte grise nous pouvons nous rendre raison de ses propriétés, comparées à celles de la fonte blanche : comme sa texture grenue, son faible degré de dureté, le temps prolongé qu'elle exige pour recevoir les couleurs du recuit et la chaleur lumineuse, les modifications qu'elle éprouve au contact de l'air dans les températures élevées, le degré de chaleur nécessaire pour la mettre en fusion, sa liquidité, enfin le défaut de se rouiller plus vîte que la fonte blanche *.

182. Ce qui précède fait voir clairement que le carbone se combine avec le fer de plusieurs manières.

La fonte grise peut être regardée comme un mélange de fer aciéreux et de graphite.

La fonte blanche grillée devenue grise et douce est un composé de fer aciéreux et d'un carbure de fer dans lequel le carbone domine; l'acier non trempé est de même nature.

L'acier trempé et la fonte blanche sont des composés de fer et de carbone dans lesquels ce dernier est toujours uni à toute la masse du métal, en proportion variable, à la vérité, mais toujours de la manière la plus homogène. La combinaison du fer avec le carbone est de la plus haute importance dans l'étude de la sidérurgie. C'est à elle seule que sont dus les trois états de ce métal; c'est elle seule qui donne aux deux espèces de fer cru des propriétés si opposées, qui varie la dureté de l'acier et qui peut expliquer les phénomènes de la préparation du fer.

* Le mélange du graphite avec le fer, fait que la fonte grise arrive plus tard aux divers degrés de chaleur, qu'elle est moins fusible et par la raison inverse, conservant mieux le calorique, elle est plus liquide, étant sortie du foyer de la chaleur. Enfin sa porosité l'expose davantage à l'action de la rouille. Le T.

DE L'ACTION DU SOUFRE SUR LE FER.

183. Le fer a beaucoup d'affinité pour le soufre, qui en augmente la fusibilité; chauffé au rouge seulement, il entre avec lui en liquéfaction. Parties égales de soufre et de métal, exposées un certain temps à la chaleur rouge dans un creuset fermé, donnent un culot qui présente une combinaison parfaite: ce sulfure est attirable à l'aimant; sa composition varie d'après le degré de chaleur employé.

184. On connaît plusieurs combinaisons de fer et de soufre, à proportions déterminées; mais deux seulement peuvent s'effectuer par la fusion immédiate des deux composans. Les autres se forment par la réduction des sels à l'aide du carbone et de l'hydrogène, ou bien par la réduction de l'oxide de fer au moyen de l'hydrogène sulfuré.

La nature nous offre plusieurs sulfures dont les uns sont évidemment à proportions déterminées, et les autres constitués de manière que ces proportions ne peuvent être prouvées que par le calcul. On part alors de l'hypothèse qu'ils sont composés de deux sulfures de différens degrés de saturation. Bien que cette manière de procéder résulte de la doctrine des proportions déterminées et qu'elle paraisse d'ailleurs justifiée par la composition des sulfures naturels, il n'est pas encore décidé que le fer et le soufre ne puissent se combiner entre eux en toutes sortes de proportions, comme beaucoup de métaux et des corps oxidés. Par la fusion du soufre avec le fer, on obtient des composés qui peuvent varier à l'infini; mais il faut élever fortement le degré de chaleur, lorsque le soufre est en petite quantité. Les uns pensent que ces sulfures n'ont point de proportions déterminées; les autres les croient composés de sulfures à proportions déterminées, dissous dans l'excédant de soufre.

185. Voici les sulfures à proportions déterminées, qu'on ne peut obtenir par la fusion des deux composans :

1° Le sulfure contenant 4 atômes de fer et 1 atôme de soufre. On l'obtient, d'après M. Arfvedson, lorsqu'on fait passer de l'hydrogène à travers un tube renfermant du sous-sulfate d'oxide. Il se dégage de l'eau, de l'acide sulfureux, et il reste une poudre noirâtre qui, frottée contre des corps durs, prend un aspect métallique. Par la dissolution dans les acides étendus d'eau, ce sulfure donne sept parties d'hydrogène et une partie d'hydrogène sulfuré. D'après M. Berzelius, il contient sur cent parties de fer 7,412 de soufre; ou bien il se compose de 93,1 parties de fer et de 6,9 de soufre; il jouit de la vertu magnétique.

2° Le monosulfure, contenant 1 atôme de fer et 1 atôme de souffre. M. Arfvedson l'obtient, en échauffant du protosulfate anhydre dans un courant de gaz hydrogène sulfuré. Il se forme de l'acide sulfureux et de l'eau; le résidu pulvérulant est le sulfure en question. Il est magnétique, contient sur cent parties de fer 29,648 de soufre; ou bien 77,03 parties de fer et 22,97 de soufre.

Dans les masses aglutinées tirées des hauts fourneaux de Gleivitz, j'ai trouvé un sulfure cristalisé, composé de sulfure de manganèse et de sulfure de fer, en proportions telles que les deux métaux contenaient les mêmes quantités atomistiques de souffre. Il est possible qu'on le trouve un jour dans la nature; il jouit faiblement de la vertu magnétique.

Les deux sulfures n° 1 et 2 chauffés au rouge et soumis à l'action de l'hydrogène sulfuré, donnent le sulfure à 1 atôme de fer et à 2 atômes de souffre (186).

3° Le sulfure contenant 1 atôme de fer et 3 atômes de soufre. On l'obtient, d'après M. Berzelius, quand on fait passer un courant de gaz hydrogène sulfuré sur l'oxide pur porté à un degré de chaleur qui ne dépasse pas 80° de Réaumur. L'opération doit continuer tant qu'il se dégage de

l'eau. Le sulfure conserve la forme du morceau d'oxide employé. Il est permanent à l'air, d'une couleur grise jaunâtre, susceptible de prendre de l'éclat par le frottement, il laisse dégager du soufre par la distillation et se change en sulfure à 1 atôme de fer et à 2 atômes de soufre. Il contient sur 100 parties de fer 88,965 de soufre, ou bien il se compose de 52,9 parties de fer et de 47,1 parties de soufre. Il ne se dissout pas en entier dans les acides, parce qu'une partie se change en persulfure.

186. On peut obtenir le sulfure à 1 atôme de fer et à 2 atômes de soufre, par la simple fusion des deux corps, en opérant avec les précautions convenables. D'après M. Berthier, les persulfates et les protosulfates, réduits par le charbon à la chaleur rouge, donnent ce sulfure. Nous venons d'indiquer une autre manière de le produire (185), et le persulfure dont il sera question au paragraphe 187, soumis à la chaleur rouge en vase clos, le donne aussi pour résidu.

Pour le préparer immédiatement, on chauffe des rognures de tôle avec du soufre dans un creuset fermé. Il est essentiel qu'on emploie une forte chaleur rouge. L'excès de soufre se volatilise: si l'on cesse l'opération avant que les vapeurs sulfureuses aient fini de se dégager, le sulfure qu'on veut obtenir se trouve souillé d'un autre dont le degré de sulfuration est plus élevé. Si la chaleur est au contraire très-forte, de manière que le sulfure devienne liquide, et si le fer est en excès, il est à craindre qu'il se forme un sulfure d'un degré de sulfuration plus faible, et qui se combine aussi avec le premier.

Le sulfure à 1 atôme de fer et à 2 atômes de soufre est jaune, attirable à l'aimant, il correspond au protoxide de fer et contient sur 100 parties de fer 59,39 de soufre; ou bien il se compose de 62,77 parties de fer, combinées avec 37,23 de soufre. Il se dissout dans les acides sans résidu et laisse

dégager de l'hydrogène sulfuré pur. On l'appelle sulfure magnétique artificiel.

Ce sulfure n'a pas encore été trouvé d'une pureté parfaite dans la nature. La pyrite qui lui ressemble, a reçu la qualification de magnétique, parce qu'on a cru long-temps qu'elle était parfaitement semblable au sulfure magnétique artificiel. Parmi les pyrites communes qu'on rencontre dans les mines de houille, il se présente quelquefois des sulfures qui se rapprochent très-près du sulfure magnétique artificiel et qui conviennent alors à la fabrication du vitriol.

187. Le persulfure est composé de 1 atôme de fer et de 4 atômes de soufre. Trouvé dans la nature, il porte le nom de pyrite commune. On le prépare en mêlant le sulfure magnétique artificiel avec la moitié de son poids de soufre et en tenant la température un peu au-dessous du rouge brun. L'excès de soufre se dégage par la distillation, et l'on obtient une poudre très-volumineuse, d'une couleur jaune foncée, d'un aspect métallique, inattaquable par les acides, hormis l'acide nitrique et l'eau régale. Traité avec l'acide nitrique, il dépose du soufre et se change en persulfate. Chauffé en vase clos, il laisse dégager une partie de soufre et passe à l'état de sulfure magnétique.

Dans le persulfure, 45,74 parties de fer sont combinées avec 54,26 de soufre, ou 100 parties de fer sont chargées de 118,68 parties de soufre.

M. Berzélius l'a obtenu aussi, en exposant à un courant de gaz hydrogène sulfuré, l'oxide, l'hydrate ou le carbonate de fer, soit à l'état de poudre soit à l'état de cristallisation et soumis à une température au-dessus de l'ébullition de l'eau. L'opération est terminée lorsqu'il ne se fait plus d'augmentation de poids. Si les hydrates, les oxides ou les carbonates de protoxides sont employés à l'état cristallin, le sulfure conserve leur forme et la même graduation dans l'éclat des faces. Cette idendité de formes s'étend même au clivage des cristaux primitifs.

Si l'on arrête l'opération après que l'oxide est entièrement décomposé, mais avant qu'il se dégage de l'hydrogène sulfuré pur, on obtient un mélange de persulfure et d'autres sulfures. Dans ce cas la masse se décompose spontanément à l'air, se couvre promptement de vitriol, se gonfle en trois ou quatre jours au point que son volume est décuplé. On aperçoit alors dans ce sulfure des sels cristallisés en aiguilles très-fines, et du persulfure non décomposé.

188. La pyrite commune se trouve fréquemment dans la nature; tantôt elle est pure, tantôt combinée avec d'autres sulfures de métaux. Sa couleur est jaune, son éclat métallique, et sa dureté telle qu'elle fait feu au briquet. La pyrite hépatique, qui se décompose facilement à l'air, qui se distingue par conséquent d'une manière frappante de la pyrite commune, n'en diffère pas, d'après M. Berzélius, par sa composition chimique. Elle lui donna 45,07 de fer, 0,70 de manganèse, 53,35 de soufre et 0,80 de silice. On ne peut donc assigner la cause de sa décomposition spontanée.

189. La pyrite magnétique naturelle est composée d'une manière très-variable. Mais on explique sa composition par la combinaison du sulfure magnétique artificiel (186) avec le persulfure. M. Stromeyer a trouvé dans la pyrite magnétique de Tresebourg 59,85 parties de fer et 40,15 de soufre. Sa formule serait donc ($FeS^4 + 6FeS^2$). D'autres pyrites trouvées à Barège, contenant 56,375 parties de fer, et 43,625 de soufre, et dans lesquels les deux sulfures renferment des parties égales de soufre, correspondent à la formule $FeS^4 + 2FeS^2$. M. Rose trouva dans la belle pyrite lamelleuse de Bodenmais 60,52 parties de fer, 38,78 de soufre et 0,82 de silice. Ce composé, qui se rapproche du sulfure primitif FeS^2, contient un peu plus de soufre; il donne ce corps en substance par la dissolution dans les acides.

On voit très-bien, et même à l'œil nu, que la pyrite

magnétique n'est point homogène et qu'elle constitue un mélange. Toutefois il faut avouer qu'il entre beaucoup d'arbitraire dans la manière dont on calcule la composition des sulfures. M. Rose, par exemple, trouva dans la pyrite cuivreuse de Ramberg 34,40 parties de cuivre, 30,57 de fer, 35,87 de soufre et 0,27 de silice. Ce composé correspond aussi bien à la formule $FeS^3 + CuS^3$ qu'à la formule $FeS^3 + CuS$. M. Rose donne la préférence à la dernière, parce que cette pyrite n'est pas magnétique; chauffée elle céde une partie de son soufre, qui se dégagerait, d'après la première formule, du sulfure de cuivre et, d'après la deuxième, du sulfure de fer.

Berthollet pensait que dans les sulfures naturels et artificiels, le fer est combiné avec le soufre en proportions indéterminées. Cette opinion n'a été partagée que par un petit nombre de chimistes.

190. Les sulfures ne peuvent se réduire entièrement par l'hydrogène; mais ils se décomposent en partie par l'emploi seul de la chaleur; la fabrication du soufre repose sur cette propriété.

M. Stromeyer a trouvé que le persulfure distillé *à la chaleur rouge* ne se change pas en sulfure magnétique artificiel, et qu'il faut employer pour cet effet un degré de température plus élevé. A la chaleur rouge il se forme un sulfure attirable à l'aimant et composé de la même manière que plusieurs pyrites magnétiques, puisqu'il contient 60 parties de fer et 40 de soufre; de sorte que 100 parties de fer restent encore chargées de 67 de soufre. Ce composé correspondrait aux battitures parmi les oxides. C'est le même qu'on obtient par la réduction du persulfure au moyen du gaz hydrogène.

191. Il suffit de mettre du soufre pulvérisé en contact avec du fer en limaille très-fine, et de les arroser avec de l'eau, pour élever la température au point que la masse

s'enflamme, si l'on opère sur de grandes quantités. Le mélange obtenu se compose de sulfure et de sulfate de fer. On ne connaît pas encore au juste quelles sont toutes les forces chimiques qui déterminent cette opération. Le fer enlève le soufre à la plupart des métaux; c'est en vertu de cette grande affinité qu'on l'emploie dans la réduction du plomb, de l'argent et du mercure sulfurés.

192. Converti en sulfure, le fer devient très-fusible et forme une matière extrêmement aigre. La présence du soufre est donc très-préjudiciable à la préparation de ce métal. Il existe beaucoup de minérais qui, pour cette raison, ne peuvent être soumis à aucun traitement sidérurgique. L'influence de cette substance sur les propriétés du fer est si considérable, qu'une légère trace, à peine sensible dans l'analyse, peut le rendre rouverin. Sans prétendre que d'autres corps ne puissent lui donner le même défaut, nous devons croire, et l'expérience le prouve d'une manière incontestable, qu'il le doit souvent à une faible dose de soufre.

On ne doit pas trop craindre de traiter des minérais qui donnent des fers légèrement rouverins; ces fers sont d'ordinaire mous et tenaces; mais on ne peut les travailler, si le vice qu'on cherche à détruire se manifeste à un haut degré.

193. Pour apprécier la quantité de soufre qui empêche le fer d'être travaillé sous le marteau, j'ai fait ajouter aux charges d'un haut fourneau une certaine quantité de gyps à défaut de minérais sulfurés. La fonte ayant été affinée, on a obtenu un fer très-rouverin; qui pouvait s'étirer un peu à la chaleur blanche; mais qui se criquait ensuite au point qu'il fut impossible d'achever le forgeage. La soudabilité avait entièrement disparu. L'analyse ne me donna que 0,03375 de soufre pour %, ou si l'on veut, ce fer si rouverin ne contenait, sur 100,000 parties de métal, que 34 de soufre. Ainsi il n'en faut qu'une bien petite quantité pour détériorer le fer complètement.

Dans un autre fer qui paraissait à froid d'une assez bonne qualité, mais qui était rouverin, je n'ai trouvé qu'une partie de soufre sur 10,000 de fer.

On ne peut déterminer de si petites quantités par le procédé ordinaire, en changeant le soufre en acide et en traitant la dissolution par un sel de baryte. On est obligé de dissoudre le fer, à une température moyenne, dans l'acide hydrochlorique, de faire passer les gaz qui se dégagent par une dissolution d'acétate de plomb, et de calculer ensuite la dose de soufre par celle du sulfure de plomb qui se précipite.

DE L'ACTION DU PHOSPHORE SUR LE FER.

194. La propriété du phosphore, de brûler à une basse température, est un obstacle à sa combinaison avec le fer, un des métaux les plus réfractaires. Le meilleur moyen de l'effectuer, c'est de réduire le phosphate de fer par le charbon; il suffit d'une chaleur rouge brun. On est obligé d'employer un degré de température plus élévé, si l'on opère sur la limaille de fer mêlée avec l'acide phosphorique et le charbon. Mais on ne risque pas que le phosphure soit souillé de charbon, inconvénient qu'on n'évite pas toujours en reduisant le sel.

La réduction des oxides sans charbon et à l'aide du phosphore serait impraticable, parce que le degré de chaleur nécessaire pour l'opération ferait volatiliser le phosphore. Si cependant ce réactif est employé en forte dose, une partie du fer se réduit, et l'autre, se combinant avec l'acide phosphorique, à mesure qu'il se forme, passe à l'état des scories. M. Pelletier prétend avoir obtenu du phosphure de fer, en fondant le fer métallique avec l'acide phosphorique ou un phosphate : une partie du métal aurait réduit l'acier phosphorique, et l'autre se serait combinée avec le

phosphore; mais cette assertion est inexacte, car le fer ne peut décomposer l'acide phosphorique, sans la présence du carbone qui a dû exister en forte dose dans le fer employé par cet auteur.

195. Outre le moyen précité d'obtenir le phosphure, on peut le composer aussi avec de la limaille de fer qu'on chauffe dans un creuset, et à laquelle on ajoute du phosphore, à plusieurs reprises, ayant soin chaque fois de fermer le vase avec beaucoup de précaution.

Le phosphure de fer est gris, aigre et fusible; soumis dans des vaisseaux clos, à la plus forte chaleur, il est inaltérable. Chauffé en contact avec l'air atmosphérique, il brûle et laisse, d'après Pelletier, de l'oxide pour résidu; mais il est probable que cet oxide est mélangé de phosphate de fer. L'acide nitrique et l'eau régale sont les seuls acides qui le décomposent à la chaleur de l'ébullition.

196. On ne connaît jusqu'à présent qu'un seul phosphure de fer à proportions déterminées; c'est celui dont nous avons indiqué la préparation et qui renferme 2 atômes de fer et 1 atôme de phosphore. Ce composé correspond à la fonte blanche lamelleuse, et contient 77,14 parties de fer, unies à 22,86 parties de phosphore. Il n'est pas probable qu'on puisse en former d'autres à un plus haut degré de phosphuration, et à un degré plus bas, les phosphures de fer n'ont point de proportions déterminées.

Le phosphure de fer n'a pas encore été trouvé dans la nature. Il se forme, au grand préjudice du praticien, des phosphures artificielles dans les hauts fourneaux. Les cendres de ces combustibles et une foule de minérais renferment des phosphates de fer qui se changent en phosphures et entrent ensuite en combinaison avec la fonte. En général il n'y a point de fer qui soit exempt de phosphore.

Les fers très-phosphurés possèdent une grande soudabi-

lité et passent plus vîte que tous les autres à la chaleur blanche; dans les températures élevées, ils sont mous, tendres, se travaillent avec beaucoup de facilité et ne répandent aucune odeur; mais après le refroidissement, ils ne sont doués que d'une faible résistance. Leur fragilité augmente avec la dose de phosphure qu'ils contiennent. Quoiqu'il existe plus d'une substance qui puisse donner au fer cette mauvaise qualité, le phosphore doit en être accusé fréquemment. J'ai tâché de déterminer le maximum de phosphore que le fer peut contenir sans que sa ténacité en soit trop altérée.

197. Si le phosphore exerçait sur la qualité du fer une influence aussi nuisible que celle du soufre, il n'existerait pour ainsi dire point de pays qui pût fournir du fer fort. D'après mes nombreuses expériences, j'ai acquis la certitude que 0,3 p. % de phosphore ne peuvent diminuer la ténacité du fer d'une manière sensible. Celui qui en renferme 0,5 p. %, est encore très-bon et résiste aux épreuves du choc. C'est seulement lorsqu'il en contient 0,66 p. % qu'il se brise quelquefois par la percussion; mais on peut le courber à angle droit, et il ne doit pas encore être rangé parmi les fers cassans à froid. Sa ténacité commence à diminuer d'une manière appréciable par un contenu de phosphore de 0,75 p. %; alors il céde souvent aux épreuves ordinaires du choc et du ploiement. Si la teneur en phosphore s'élève à 0,8 p. % un grand nombre de barres cassent aux épreuves du choc; et à 1 p. % les barres ne se laissent plus courber à angle droit. Au-dessus de cette quantité, le fer deviendrait si mauvais, qu'il ne pourrait servir qu'à peu d'usages.

Le fer qu'on retire des meilleurs minérais contient aumoins 0,2 p. % de phosphore. Cette quantité, et même celle de 0,3 p. %, ne produisent d'autre effet sur le fer que de le rendre plus dur sans diminuer sa ténacité.

198. Bergmann et Meyer sont les premiers qui remontèrent à la cause de la fragilité du fer, en tant qu'elle provient du phosphore. Ils jetèrent sur les minérais ou sur le métal une quantité d'acide sulfurique concentré égale au poids des matières ; ils concentrèrent ensuite le mélange, y versèrent une grande quantité d'eau et laissèrent refroidir à l'air la dissolution, après l'avoir filtrée rapidement : il s'en précipita alors une poudre blanche, qu'ils obtinrent en décantant et qu'ils lavèrent plusieurs fois, pour en séparer l'hydrate de fer. Cette poudre desséchée conserve sa couleur blanche, se dissout dans les acides, est décomposée par les alkalis (en abandonnant son oxide), se fond plus facilement que le fer cru et donne par la réduction avec le charbon, un culot que l'on croyait être un métal particulier ; il reçut le nom de *sidérite* (hyderosiderum). C'est à cette substance que l'on attribuait la fragilité des fers tendres ; fondue avec de très-bon fer, elle le rendait cassant à froid.

Meyer et Klaproth s'aperçurent bientôt, au moyen des essais synthétiques, que la poudre blanche est un phosphate de fer qui, traité par le charbon, se change en phosphure. Schéele confirma cette découverte, en décomposant la poudre blanche par les alkalis.

Les proportions du précipité blanc varient dans les divers fers cassans à froid, d'après Bergman, entre 0,1 et 0,16 pour cent ; la quantité de phosphore ne pourrait donc s'élever au-dessus de 0,05 pour cent de la masse totale ; attendu que le poids de l'acide, qui n'est point contenu dans le métal et qui ne doit son existence qu'à l'opération même, ne doit pas être confondu avec celui du phosphore. M. Vauquelin fit observer depuis, avec raison, que c'est la moindre partie du phosphore qui passe à l'état d'acide phosphorique et que le reste doit se trouver dans le résidu sous forme de phosphure de fer. Nous indiquerons plus tard une manière plus certaine de procéder.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE SOUFRE.

199. Il est difficile de déterminer les modifications que le soufre fait éprouver au fer combiné avec le carbone, et l'influence que celui-ci peut exercer sur les différentes combinaisons du fer avec le soufre. Il semble que la présence de ce dernier, lorsqu'il est en grande quantité dans le métal, peut détruire l'effet du carbone; on ne s'est jamais aperçu d'aucune différence entre la fonte, l'acier et le fer fortement sulfurés. Ils ne manifestent que les propriétés appartenantes aux fers qui contiennent du soufre, la plus ou moins grande quantité de carbone ne semble influer en rien sur leur manière d'être. Il est certain cependant qu'ils doivent différer entr'eux.

Le carbone et le soufre s'unissent ensemble et donnent, dans certaines circonstances, un corps volatil qui a été découvert par Lampadius. Ce sulfure de carbone se forme-t-il aussi dans le fer ou dans la fonte? c'est ce qu'on ne peut encore décider.

Il paraît douteux que la fonte blanche lamelleuse, dont la composition est CFe^2, puisse, étant déjà formée, se charger encore de soufre. Cela ne pourrait avoir lieu que dans le cas où le fer se combinerait avec le carbone à un degré plus élevé, inconnu jusqu'à présent, ou bien dans le cas où le soufre pût enlever, en se volatilisant, une certaine quantité de carbone. On devrait croire que dans un creuset le soufre se combinerait plus facilement avec le fer forgé qu'avec l'acier ou la fonte grise, et plus facilement avec ces derniers qu'avec la fonte blanche.

Des essais faits dans des creusets prouvent que le soufre chasse le carbone, et que celui-ci ne peut dégager le soufre; mais on ne sait pas dans quel état le carbone se trouve séparé du fer. Si on liquéfie de la fonte blanche avec du

soufre, dans un creuset fermé, on trouve le carbone sous forme de suie et sans éclat, sur la face inférieure du culot. Ce carbone a toutes les propriétés du graphite, à l'éclat près; il brûle difficilement et se consume sous le mouffle, sans laisser de résidu.

Il en est autrement dans la réduction des oxides par le carbone en présence de sulfates; le soufre se combine alors avec le fer, avant que celui-ci soit chargé de carbone. D'un autre côté l'existence des combinaisons triples de fer, de carbone et de soufre est bien prouvée, puisqu'on a des fontes qui, très-chargées de carbone, contiennent du soufre. L'état de ces combinaisons triples est inconnu; il est assez probable que le carbure tient le sulfure de fer en dissolution, lorsque le soufre est en si petite quantité que son action ne peut détruire l'effet caractéristique du carbone sur le métal.

200. Le soufre et le carbone, selon les expériences qui ont eu lieu jusqu'à présent, ne se combinent entre eux qu'à l'état libre et à une température élevée. On obtient le carbone sulfuré, en chauffant le charbon avec le soufre ou le persulfure de fer; la pyrite magnétique ne pourrait servir à cet usage.

De nouveaux essais décideront si le sulfure magnétique, indécomposable à la plus forte chaleur, subit quelque modification par la présence du carbone. Le métallurgiste est vivement intéressé à connaître les actions réciproques que ces substances peuvent exercer l'une sur l'autre à une température élevée. Le fer sulfuré au minimum, exposé des heures entières avec le charbon à la plus forte chaleur blanche, n'éprouve point de changemens essentiels; d'après mes expériences, il absorbe seulement une petite dose de carbone et devient plus cassant.

201. Lorsque le fer combiné avec le carbone contient une légère dose de soufre, de manière que ses propriétés

caractéristiques n'en soient point altérées, il en acquiert une plus grande fusibilité, qui se manifeste dans l'acier et le fer ductile, en ce que l'un et l'autre passent plus vîte au blanc soudant, que si on les chauffait dans leur état de pureté; ils deviennent très-tendres et presque fusibles à ce degré de température, ne supportent plus les coups de marteau et se refroidissent avec une extrême facilité. C'est cet état de mollesse joint à leur passage rapide de la chaleur blanche à la chaleur rouge, qui empêche la liaison des parties et rend le fer rouverin. Ce défaut, lorsqu'il n'est pas très-prononcé, ne produit que des criques sur les arêtes des barres; mais quand le fer en est fortement entaché, il perd toute espèce de soudabilité et tombe en pièces sous le marteau; quand il le possède au plus haut point, il devient à la fois brisant à chaud et cassant à froid.

L'influence du sulfure de fer sur la fonte est encore plus frappante. La fonte sulfurée très-vive d'ailleurs se refroidit subitement; au moindre abaissement de température, elle s'épaissit et prend une couleur rouge. L'effet principal du soufre est d'augmenter la fusibilité, par conséquent la formation de la fonte blanche, et d'empêcher celle du graphite; on sait que celui-ci ne peut se former qu'à une haute température, et la fusibilité que le soufre communique au minérai empêche la masse entière de s'élever au degré de chaleur nécessaire. Voilà ce qui explique les difficultés qu'on éprouve, en traitant des minérais pyriteux, pour en obtenir de la fonte grise; mais, lorsqu'elles sont vaincues, la fonte grise abandonne une partie du soufre qui était retenu dans la fonte blanche.

La fonte grise dans laquelle on jette un peu de soufre, devient entièrement blanche, *quoique refroidie lentement*, et conserve du reste le caractère de fer cru. On ne peut assigner la cause de ce phénomène remarquable.

202. M. Evain a fait observer que du fer rougi, aurait-

il même un pouce d'épaisseur, se laisse traverser en peu de secondes par un cylindre de soufre qu'on y applique. On a cru que ce moyen simple pourrait servir dans les arts pour percer le fer, d'autant plus que les bords des trous sont ordinairement assez nets; mais l'influence du soufre ne manque pas de se faire sentir sur la partie du métal qui borne l'ouverture. Cette expérience a aussi prouvé que l'action du soufre sur le fer ne devient instantanée que lorsque ce dernier est chauffé au blanc; à une plus basse température le soufre se dégage, à moins qu'il ne soit retenu en vase clos. L'acier parut attaqué plus fortement que le fer forgé, probablement parce qu'il passe plus tôt à la chaleur blanche. La fonte blanche et la fonte grise chauffées au rouge, résistent à l'action du soufre. Bien que cette manière d'être de la fonte, soit d'accord avec ce qui a été dit au paragraphe 199, on ne doit pas en tirer une preuve à l'appui des raisons que nous avons données, parce que le fer cru ne peut être porté au degré de température nécessaire pour être percé.

203. Une petite quantité de soufre suffit déjà pour ôter à la fonte sa liquidité. Voilà ce qui explique la présence des nombreuses cavités et soufflures qu'on trouve toujours dans la fonte sulfureuse. Le fer cru qui a donné le fer rouverin dont il a été question au paragraphe 193, contenait seulement 0,0337 pour cent de soufre. Puisque ce fer était rouverin au plus haut degré, il faut croire qu'on ne traite nulle part des minérais dont la fonte puisse renfermer au-dessus de 0,034 pour cent de soufre.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE PHOSPHORE

204. Le voile étendu sur les composés triples de fer, de carbone et de soufre, couvre aussi la combinaison du fer

avec le carbone et le phosphore. On ne connaît encore aucun composé de ces deux derniers corps; l'expérience a démenti l'opinion de plusieurs chimistes qui avaient annoncé une semblable substance. Le phosphore se comporte à l'égard du fer carburé de même que le soufre; une forte dose du premier peut anéantir l'effet du carbone, comme une forte dose de soufre: l'influence du carbone sur le phosphure de fer, nous est également inconnue.

205. Si la quantité de phosphore est assez faible pour ne point altérer les propriétés caractéristiques que le fer reçoit du carbone, son effet se borne à augmenter la fusibilité du métal. Le fer conténant du phosphore passe plus vîte au blanc soudant, conserve très-long-temps ses divers degrés de chaleur et possède une parfaite soudabilité. Ces sortes de fers sont faciles à travailler; mais, ils ne peuvent soutenir le feu, parce qu'ils deviennent extrêmement mous: refroidis, il sont durs, aigres et cassans; on les appelle *fers cassans à froid* ou *fers tendres*.

106. La fonte contenant du phosphore, est non-seulement très-fusible, mais elle conserve aussi fort long-temps sa liquidité, plus long-temps même que celle qui provient des meilleurs minérais; elle est fréquemment employée pour la confection des objets moulés, d'autant plus qu'elle n'attaque pas les moules, mais elle est extrêmement cassante, surtout lorsqu'elle paraît blanchâtre. Elle ne convient que pour des objets qui ne demandent pas une grande résistance.

La quantité de phosphore contenue dans le fer cru provenant de minérais qui ne montrent pas une trace de phosphore est rarement au-dessous de 0,2 p. %. La plus grande dose de phosphore que j'aie pu trouver dans des fontes produites par des minérais de fer limoneux était 5,6 p. %. On ne pourrait indiquer la quantité qui rendrait le fer cru impropre à la confection des objets moulés; mais on sera

rarement dans le cas d'employer des minérais si chargés de phosphore *. Ce corps s'oppose aussi à la formation du graphite, quoiqu'à un moindre degré que le soufre.

DE L'ACTION DES ACIDES SUR LE FER.

207. Nous avons fait observer déjà (164) que le fer peut décomposer l'eau non purgée d'air, à une température ordinaire, et l'eau pure à une température au-dessous de 100°: la présence des acides favorise cette opération. La plupart d'entre eux ne peuvent même se combiner avec les métaux qu'en vertu de la décomposition de l'eau. Leur effet serait nul, s'ils ne contenaient pas une certaine quantité de ce liquide, ou si leurs radicaux n'étaient pas susceptibles de deux degrés d'oxigénation. Le fer ne pouvant se dissoudre qu'à l'état d'oxide, doit enlever d'abord l'oxigène à l'eau, ou aux acides: une semblable dissolution n'est donc autre chose qu'une opération galvanique; l'acide, l'eau et le métal forment une pile, composée de deux fluides et d'un corps solide conducteur de l'électricité.

208. Le charbon, le soufre et le phosphore ne sont attaquables que par des acides dont les radicaux présentent plusieurs degrés d'oxigénation. L'effet ne peut le plus souvent avoir lieu qu'à une température élevée. Il est probable que ces corps combustibles et avides d'oxigène, ne peuvent décomposer l'eau, parce qu'ils sont de très-mauvais conducteurs de l'électricité, et qu'ils ne peuvent former une chaîne galvanique. Mais combinés avec le fer, ils prennent à cette opération chimique une part très-active; ils absor-

(*) Il arrive cependant qu'on traite des minérais qui donnent une fonte très-cassante; on est obligé d'augmenter l'épaisseur des objets moulés pour leur donner un certain degré de résistance. Ces objets sont alors moins beaux et moins propres aux usages auxquels on les destine, comme par exemple les poëles, les vases culinaires, etc. Le T.

bent et l'oxigène et l'hydrogène, restent oxidés dans la dissolution, ou se dégagent à l'état de gaz hydrogène carburé, sulfuré ou phosphuré. On ne sait pas encore dans quelle proportion se fait le partage ; il est probablement modifié par le degré de température et la concentration de l'acide.

209. La nature des gaz qui se forment par la dissolution du fer, dépend autant de la nature des acides que de leur concentration. Il s'en dégage en général quatre espèces, de l'hydrogène, de l'acide sulfureux, de l'acide nitreux et du deutoxide d'azote. Le premier s'obtient au moyen de tous les acides, excepté l'acide sulfurique concentré. L'acide nitrique donne, suivant qu'il est plus ou moins concentré, ou de l'acide nitreux ou du deutoxide d'azote ; l'acide sulfurique très-concentré donne de l'acide sulfureux, à une température élevée. Tous les deux se décomposent en partie, l'un à une basse température, l'autre à un degré de chaleur plus fort ; et ils cèdent ensuite au métal l'oxigène provenant de leur décomposition, tandis que l'autre composant s'échappe à l'état de gaz acide sulfureux, nitreux ou deutoxide d'azote, constituant toujours avec l'oxigène une combinaison dont les proportions sont définies : le carbone, le soufre et le phosphore, contenus dans le fer, restent dans la dissolution : le carbone sous une forme très-variable, le soufre et le phosphore à l'état d'acide sulfurique et d'acide phosphorique.

Si l'on emploie d'autres acides, et même de l'acide sulfurique non concentré, il y aura décomposition de l'eau et de l'hydrogène mis à nu ; le soufre, le carbone et le phosphore obéiront alors à leur double affinité pour les élémens de l'eau : une partie de ces subtances restera oxidée dans la dissolution, et l'autre, combinée avec l'hydrogène, se dégagera. C'est pour cette raison que, d'après M. Berzélius, l'acide sulfurique non concentré et l'acide hydrochlorique, ne constituent pas un réactif aussi puissant que l'acide ni-

trique, quand il s'agit de faire découvrir le charbon, le soufre et le phosphore; ils donnent quelquefois un résidu, d'une couleur blanche, lorsque celui qu'on obtient avec l'acide nitrique est brun ou noir. Si donc on veut trouver dans la dissolution, ce que le fer contient des deux dernières substances, on ne peut employer que l'acide nitrique ou l'eau régale. Par l'emploi des autres acides, le soufre disparaît entièrement avec l'hydrogène, et le phosphore en grande partie. Il faut recueillir et examiner avec soin les gaz qui se dégagent.

Le sulfure contenu dans le fer, l'acier ou la fonte, ne donne pas une trace de soufre ou d'acide sulfurique par la dissolution du métal dans l'acide hydrochlorique. Le soufre s'échappe en entier à l'état d'hydrogène sulfuré. C'est aussi pour cette raison qu'on ne peut le trouver très-exactement par l'emploi de l'eau régale même.

Le phosphore ne peut être dosé que par sa conversion en acide phosphorique, à la chaleur de l'ébullition, et au moyen de l'acide nitrique ou de l'eau régale. Quant à la teneur en carbone, elle ne peut être déterminée avec exactitude au moyen d'un acide quel qu'il soit. Une partie de ce corps se dégage avec les gaz, une autre reste dans un état d'altération complet, une troisième enfin se dissout dans le liquide dont on ne sait pas la séparer. Les contenus de carbone annoncés jusqu'ici, ne peuvent donc inspirer aucune confiance, parce qu'on n'a guère eu égard à ces considérations.

210. L'hydrogène, que les acides étendus d'eau donnent pendant la dissolution du fer, fut considéré d'abord par Bergmann et par Rinman, et plus tard, par les chimistes Monge, Berthollet et Vandermonde, comme un moyen qu'on pouvait employer pour déterminer la quantité de fer métallique contenue dans les fontes, les aciers et les fers forgés.

Bergmann fut le premier qui s'aperçut que, toutes choses égales d'ailleurs, le fer ductile donnait plus d'hydrogène que l'acier et celui-ci plus que la fonte; il en conclut que les quantités de fer pur contenues dans ces trois métaux, devaient suivre les mêmes proportions. Les termes moyens de ses résultats pour 100 parties de fer, ou d'acier ou de fonte, sont respectivement 50, 48, 42 pouces cubes de gaz hydrogène.

Les chimistes français adoptèrent pour nombres moyens 76, 74, 67. Si 76 mesures sont relatives à 100 parties de fer pur, 74 et 67 correspondent respectivement à 97,32, et 88,1 de fer contenu dans l'acier et la fonte. Mais, comme ces nombres n'étaient point d'accord avec les quantités de fer données par l'analyse dont les résultats sont plus forts, ces chimistes supposèrent que la fonte devait contenir déjà une certaine quantité d'oxigène, et ce fut même la seule raison qui détermina leur opinion. Cependant le point essentiel ne put leur échapper; ils attribuèrent une partie du déficit à la condensation du gaz hydrogène par le carbone, mais malheureusement ils attachèrent trop peu d'importance à cette idée qui, sans cela, les aurait conduits à des résultats bien différens.

211. Dans le cours de leurs expériences, Bergmann et Rinman s'aperçurent aussi que la fonte blanche donnait moins de gaz que la fonte grise, lors même qu'elle provenait d'une fonte grise blanchie par une seconde fusion, quoique par cette opération une partie du carbone eût dû se consumer.

Il est peu naturel de vouloir rendre raison de ce fait par une augmentation d'oxigène dans le fer cru. D'ailleurs, pourquoi la fonte grise ne fournit-elle guères moins d'hydrogène et en donne-t-elle souvent autant que le fer ductile? et comment se fait-il que l'hydrogène obtenu au moyen de la fonte blanche, contienne plus de carbone que

celui qui se dégage d'une dissolution de fonte grise? Ces difficultés ne peuvent s'expliquer que par les différens modes de combinaisons du carbone avec le fer.

La fonte grise constituant un mélange de fer carburé et de graphite, doit donner plus d'hydrogène pris au volume que la fonte blanche, parce que celle-ci contenant tout son carbone à l'état de combinaison, fournit plus d'hydrogène carburé, qui en général est plus dense et occupe moins d'espace que l'hydrogène pur. Outre l'hydrogène carburé, il se forme aussi des produits non gazeux, composés probablement d'oxigène, d'hydrogène et de carbone et qui peuvent naître seulement lorsque le carbone est dans l'état où il se trouve dans la fonte blanche et dans l'acier trempé.

Il est donc impossible de calculer les quantités de fer pur contenues dans la fonte, l'acier et le fer en barres, par le gaz qui se dégage. L'emploi de l'acide sulfurique concentré et de l'acide nitrique présenterait à peu près la même incertitude; car le temps nécessaire pour achever la dissolution varie selon les différentes espèces de fer, et ce temps influe sur la nature des gaz qui se développent. D'un autre côté, il est presqu'impossible d'employer exactement le même degré de chaleur, et la détermination précise du volume de ces gaz, si disposés à former de nouvelles combinaisons, présente beaucoup de difficultés. Enfin on ne connaît pas encore de moyens pour déterminer le carbone dissous dans le liquide.

212. Les obstacles se multiplient encore quand le fer contient, outre le carbone, du soufre et du phosphore, qui, se combinant avec l'hydrogène, en diminuent le volume. La composition de l'huile essentielle, qui se forme par la dissolution du fer carburé dans l'acide hydrochlorique et dans l'acide sulfurique, surtout dans le premier, est encore ignorée. Son odeur est forte et désagréable; elle

se dissout dans l'alcool si les gaz le traversent; on l'en sépare par une addition d'eau. Elle est composée sans doute d'oxigène, d'hydrogène et de carbone. Quelquefois il se forme en outre par l'emploi de l'acide hydrochlorique, des matières coagulées qui, moins volatiles que l'huile, en diffèrent peut-être par une plus grande proportion de carbone.

213. La dissolution dans les acides est d'autant plus lente, et la température doit être d'autant plus élevée, que le fer contient plus de carbone. Le fer forgé et la fonte grise se dissolvent le plus vite, et la fonte blanche le plus lentement. La présence du soufre ne diminue point la dissolubilité dans les acides; il n'en est pas de même du phosphore, qui ralentit la dissolution, surtout celle du fer cru.

214. On distingue d'une manière certaine l'acier du fer pur à l'aide de l'acide nitrique, qui fait une tache noire sur le premier et ne laisse aucune trace sur le deuxième. La raison de ce fait, remarqué d'abord par Rinman, est évidente. La fonte blanche se noircit par la même cause.

215. Les phénomènes que présentent les différentes espèces de fer par leur dissolution dans les acides, servent à faire juger de l'état dans lequel le carbone existe dans le métal.

Le fer ductile se dissout lentement dans l'acide sulfurique ou hydrochlorique étendu d'eau, et laisse un résidu noir d'un aspect graphiteux, mais qui, après avoir été lavé et séché, devient attirable à l'aimant et donne, étant grillé au contact de l'air, de l'oxide rouge. En séjournant quelque temps dans les acides étendus d'eau, cette substance graphiteuse devient brune noirâtre et cesse d'être attirable à l'aimant; l'acide nitrique la convertit très-promptement en une poudre brune rougeâtre qui, sans laisser aucun résidu, brûle avant de passer à la chaleur brune.

L'acide hydrochlorique *concentré* dissout le *fer* sans

donner de résidu, et l'acide sulfurique concentré ne laisse que des traces de poudre brune noirâtre, très-inflammable. Cette substance charbonneuse se conduit presque de la même manière que le charbon obtenu de bois tendre, au-dessous de la chaleur rouge et qui ne mérite pas le nom de charbon: Proust l'a déjà nommée charbon oxidé.

Par l'emploi de l'acide nitrique *très-étendu d'eau*, on obtient, à la température ordinaire, un charbon rouge brun qui se dissout presqu'entièrement, si l'on échauffe le liquide qu'il colore en brun. C'est pour cette raison que le fer ductile traité à la chaleur de l'ébullition, par l'acide nitrique concentré et par l'eau régale, ne donne pas le moindre résidu.

216. *L'acier non trempé* se comporte avec l'acide sulfurique et l'hydrochlorique étendus d'eau, de la même manière que le fer forgé; mais il laisse pour résidu une plus grande quantité de substance graphiteuse. L'emploi de l'acide hydrochlorique concentré ne donne lieu à aucun résidu. L'acide sulfurique concentré, dissout l'acier très-promptement, et pendant l'opération, il se détache du métal, de petites feuilles graphiteuses qui se changent en charbon brun noirâtre. Si l'on décante promptement, avant même que l'acier soit décomposé, et qu'on enlève le charbon déjà formé, en se servant de la potasse caustique qui le dissout et se colore en noir, on peut obtenir ces feuilles graphiteuses assez nettes: douées de l'éclat métallique, elles le conservent tant qu'elles sont plongées dans l'eau, et le perdent assez promptement par l'influence de l'air atmosphérique. Elles sont attirables à l'aimant, laissent après la combustion dans le creuset de platine, un oxide de fer rouge et subissent, par l'action de l'acide hydrochlorique concentré, les changemens précités.

L'acide nitrique concentré dissout très-promptement l'acier non trempé, et produit un fort dégagement de gaz ni-

treux; la dissolution est colorée d'une manière très-intense en rouge brun par les feuilles graphiteuses qui se changent en charbons bruns rougeâtres et qui se dissolvent en grande partie dans l'acide. En se servant de l'acide nitrique concentré, on obtient une plus grande quantité de substance graphiteuse qu'en faisant usage de l'acide sulfurique concentré. Cent parties de cette matière laissent, après la calcination dans un creuset de platine, 82 à 94 parties de fer oxidé. Si, au lieu de l'acide nitrique concentré, on emploie le même acide étendu d'eau, la dissolution devient plus lente; il ne se détache point de feuilles graphiteuses, et l'on obtient un résidu charbonneux brun rougeâtre, non attirable à l'aimant, et susceptible de brûler, avant d'arriver à la chaleur rouge.

L'acier fondu refroidi lentement se comporte, étant dissous dans les acides, presque de la même manière que les autres aciers non trempés; la seule différence qu'on y remarque, c'est que la dissolution opérée par l'acide nitrique est plus lente, et que les feuilles graphiteuses se changent plus vîte en charbon brun rougeâtre, en sorte qu'il est difficile de les obtenir avant qu'elles n'aient subi une altération.

Si l'acier fondu a été rendu plus compacte par le battage, on ne peut plus en retirer de substance graphiteuse au moyen de l'acide nitrique, parce que le changement de cette matière en charbon brun rougeâtre s'effectue déjà, avant qu'elle soit détachée de la masse métallique: la liqueur se trouble, devient opaque, reçoit une couleur rouge foncé, et il se forme au fond du vase un dépôt rouge brunâtre qui augmente à mesure que la liqueur s'éclaircit par le repos; mais une grande partie de cette matière reste dans la dissolution et la colore en rouge jaunâtre. Cette poudre rouge est très-inflammable, se dissout dans les alcalis, leur communique sa couleur foncée, ainsi qu'au

filtre et aux eaux de lavage. L'acier fondu martelé se dissout si lentement dans l'acide hydrochlorique, que les écailles graphiteuses, sont toujours mêlées de beaucoup de charbon noir.

Les aciers en général se dissolvent avec d'autant plus de lenteur qu'ils contiennent plus de carbone ou qu'ils sont plus durs, quoiqué non trempés.

217. *Les aciers trempés* se conduisent tout autrement. Celui qui a reçu un haut degré de trempe se dissout dans les acides très-difficilement et avec une extrême lenteur. Après plusieurs jours, il se couvre, dans l'acide hydrochlorique étendu d'eau, d'une poussière noire, et la dissolution fait très-peu de progrès. Cette poussière enlevée avec précaution et dégagée des particules de fer par un plus long séjour dans l'acide, se comporte comme le charbon oxidé et brûle sans résidu; traitée avec l'acide nitrique, elle donne la poudre brune rougeâtre dont nous avons déjà parlé plusieurs fois.

L'acide sulfurique étendu d'eau agit avec plus d'énergie, mais il en résulte à peu près les mêmes phénomènes que par l'emploi de l'acide hydrochlorique étendu d'eau; le dernier de ces acides, s'il est concentré, opère une dissolution entière sans laisser de résidu, si l'on chauffe jusqu'à l'ébullition de l'eau. L'acide sulfurique concentré produit à peu près le même effet, mais on obtient un peu de charbon noir.

L'acide nitrique étendu d'eau, agit aussi très-lentement sur l'acier trempé. Si l'on emploie de l'acide à une pesanteur spécifique de 1,30, le gaz nitreux se dégage lentement, et, à la température ordinaire, la liqueur se colore en rouge brunâtre, sans pourtant cesser d'être limpide. On voit se séparer de l'acier, des flocons noirs pourvus de l'éclat métallique, n'agissant pas sur l'aiguille aimantée, solubles dans la potasse caustique et ne donnant point de résidu

par la combustion : ces flocons se changent en poudre rouge brunâtre par l'action prolongée de l'acide. Tous ces phénomènes se succèdent très-rapidement, et il se forme une grande quantité d'écume, lorsque l'action de l'acide se trouve aidée par la chaleur de l'ébullition. L'effervescence produite par la décomposition de la poudre noire métallique, devenant brune rougeâtre, est si forte, que la liqueur bouillonne à grands flots; une partie de cette poudre se dissout, et le reste qu'on trouve dans le résidu, brûle avec détonation, sans laisser une trace d'oxide de fer.

218. *La fonte blanche* se comporte avec les acides de la même manière que l'acier trempé; mais tous les phénomènes paraissent encore plus prononcés. L'acide hydrochlorique ou sulfurique étendu d'eau, n'exerce presqu'aucune action sur cette espèce de fer carburé; ce n'est qu'après plusieurs semaines qu'il se couvre d'une légère poussière noire. L'acide hydrochlorique concentré le dissout parfaitement à la chaleur de l'ébullition, sans laisser aucun résidu. En faisant usage de l'acide sulfurique, on obtient un peu de charbon noir doué d'un éclat demi-métallique. L'acide nitrique employé à la température ordinaire, sépare du métal des flocons noirs qui, par un long séjour dans l'acide, se colorent en brun rougeâtre; à la chaleur de l'ébullition, il se produit une vive effervescence accompagnée des phénomènes précités (217). L'eau régale produit les mêmes effets que l'acide nitrique.

La fonte blanche devenue grise et douce par le grillage, se conduit, traitée par les acides, de la même manière que l'acier fondu très-dur, non trempé et rendu plus dense sous le marteau (216). En dissolvant cette fonte on voit à peine se détacher les petites feuilles brillantes et graphiteuses, parce qu'elles sont changées tout de suite en une substance *rouge brunâtre.*

219. *La fonte grise* est attaquée très-faiblement par l'a-

cide hydrochlorique et l'acide sulfurique étendus d'eau. On obtient, après plusieurs mois, un résidu qui contient le carbone dans trois états différens. Une partie se compose de feuilles ou d'écailles douées d'un éclat métallique très-prononcé, non solubles dans les acides et les alcalis, non attirables à l'aimant et ne brûlant qu'à la chaleur rouge, sans laisser le moindre résidu. Ce corps est le graphite, ou plutôt le carbone pur. Une autre partie présente aussi un aspect graphiteux, mais elle agit sur l'aiguille aimantée, et se comporte de la même manière que la substance graphitense qu'on obtient de l'acier non trempé dissous dans les acides. Enfin une autre partie a une couleur brune noirâtre, n'agit pas sur l'aiguille aimantée, colore en noir la lessive de potasse, et brûle avant que le creuset ne soit rouge. Le graphite se trouve toujours dans le résidu: quant aux deux autres matières charbonneuses, il y manque souvent l'une ou l'autre.

L'acide hydrochlorique concentré agit sur la fonte grise avec plus d'énergie que les acides étendus d'eau, sur-tout lorsque son action est renforcée par la chaleur. Une partie du graphite est enlevée mécaniquement par l'hydrogène, et les autres composés de charbon disparaissent entièrement avec ce gaz; mais on obtient toujours un résidu de graphite.

L'acide sulfurique fortement concentré laisse, dans les mêmes circonstances, outre le graphite, du charbon noir facilement combustible et non attirable à l'aimant (du charbon oxidé).

L'acide nitrique, s'il est doué d'une pesanteur spécifique de 1,3, agit assez faiblement sur la fonte grise à la température ordinaire. Il se présente des phénomènes qui semblent s'accorder tantôt avec ceux que produit l'acier doux, tantôt avec ceux que manifeste l'acier trempé. Le premier cas arrive, si la fonte est très-grise; le deuxième, lorsque sa couleur est claire. L'action de l'acide paraît de temps à autre

suspendue, et ce n'est qu'après qu'une feuille de graphite s'est détachée, qu'elle semble reprendre une grande énergie. Le même effet a lieu à la chaleur de l'ébullition; et si dans un instant quelconque la dissolution fait des progrès rapides, ils sont toujours dus à la séparation d'une feuille de graphite d'avec le métal. Cette substance forme donc un obstacle mécanique, en ce qu'elle protège le fer contre l'influence de l'acide. La couleur de la liqueur prouve évidement qu'une partie du charbon a été dissoute. Le résidu se compose rarement de graphite pur: c'est presque toujours un mélange de ce corps et d'une plus ou moins grande quantité de charbon changé en poudre brune. L'eau régale donne les mêmes résultats.

220. Ainsi les substances charboneuses obtenues par la dissolution du fer sont de nature très-variable. Le carbone pur ou graphite ne se retire que de la fonte grise. La manière dont il se conduit pendant l'opération montre évidemment qu'il ne se trouve qu'à l'état de mélange dans le fer cru. La substance graphiteuse qu'on obtient de l'acier non trempé, du fer ductile, de certaines espèces de fonte grise, et de la fonte blanche devenue grise et douce par le grillage, cette substance qui se décompose si facilement par les acides, n'est pas du carbone pur, ni du charbon oxidé; mais c'est un véritable composé de fer et de carbone dont les proportions sont difficiles à déterminer. Nous l'appellerons en attendant *polycarbure*. On ne doit pas la confondre avec le charbon oxidé, le résidu noir brunâtre laissé par l'acier trempé et la fonte blanche traités par l'acide hydrochlorique ou sulfurique, et qui se change en poudre rouge brunâtre par l'action de l'acide nitrique.

Le polycarbure donne 82 à 94 p. % d'oxide par la combustion. Un sexto carbure, c'est-à-dire un composé d'un atôme de métal et de 6 atômes de carbone, ou de 60 parties de fer et de 40 parties de carbone, laisserait après la calci-

nation 86,50 d'oxide. Nous ne pouvons affirmer que ce soit la composition du polycarbure, puisqu'on n'a pu obtenir ce corps dans son état de pureté.

L'analogie qui existe entre l'acier trempé et la fonte blanche, ainsi qu'entre la fonte devenue grise et douce par le grillage et l'acier non trempé (151, 180 et 181), se trouve donc confirmée. La fonte grise se conduit tantôt comme l'acier non trempé et tantôt comme un acier trempé qui renfermerait du carbone à l'état de mélange.

221. Certains acides attaquent le fer à l'état métallique avec plus d'énergie que ses oxides; d'autres manifestent plus d'action sur ces derniers; d'autres enfin n'agissant immédiatement ni sur le fer ni sur les oxides, ne peuvent se combiner avec ceux-ci que par une double décomposition. Bergman les range, selon leur degré d'affinité pour le fer, dans un ordre décroissant, comme il suit:

Acide oxalique.	Acide fluorique.
id. tartarique.	*id.* citrique.
id. sulfurique.	*id.* formique.
id. hydro-clorique.	*id.* acétique.
id. nitrique.	*id.* boracique.
id. arsénique.	*id.* carbonique.
id. phosphorique.	

Il est probable que les acides suivent le même ordre pour tous les métaux, et qu'il n'y a d'exceptions que dans le cas où ils donnent des sels insolubles. Mais il faudrait chercher aussi de semblables tableaux pour les oxides qui se correspondent.

222. Le fer ne forme avec chaque acide que deux sels différens, qui se combinent quelquefois entre eux en plusieurs proportions. Le sel du protoxide n'est pas pour l'ordinaire très-permanent; il se change avec une grande facilité en sel de protoxide et de peroxide. Mais celui-ci, exigeant une plus grande quantité d'acide pour sa neutra-

lisation, donne un précipité insoluble, regardé long-temps comme un oxide particulier. Ce précipité ne constitue, d'après les expériences de M. Berzélius, qu'un sous-sel de peroxide, ou un sel avec excès de base et dont la composition est constante; de manière que la dissolution contient toujours des sels neutres, jusqu'à ce que toute la masse soit convertie en sel de protoxide et de peroxide.

Le protoxide de fer n'a point de sous-sel. Ceux de l'oxide sont tous insolubles, retiennent fortement leur acide, le cèdent à peine aux alcalis et se conduisent presque comme les oxides. Les sels du peroxide sont décomposés en quelque sorte, non-seulement par le fer lui-même, mais aussi par certains métaux que celui-là précipite souvent de leurs dissolutions: le régule est alors oxidé aux dépens du peroxide: il se forme, par le partage de l'oxigène, du protoxide qui déplace une certaine quantité de peroxide à l'état de sous-sel. Plusieurs sels du protoxide de fer ont la propriété d'absorber du gaz nitreux et d'attirer l'oxigène de l'atmosphère. Les dissolutions aqueuses de ces sels ont été employées pour des usages eudiométriques. Tous les sels de protoxide donnent des précipités blancs, étant traités par l'alcali prussien; les précipités des sels de peroxide obtenu par ce corps sont au contraire bleus foncés.

Les sels de peroxide se décomposent, étant traités par l'eau et soumis à l'ébullition; il se forme un sel acide qui reste dissous et un sous-sel, qui se précipite. Tous les sels de peroxide sont changés en sel de protoxide par l'hydrogène sulfuré. Il se dépose alors du soufre coloré en blanc.

223. Le fer n'est jamais précipité à l'état métallique. La forte attraction de ce corps pour l'oxigène explique aussi son affinité pour les acides. Il paraît que le zinc le surpasse encore sous ce rapport; cependant il ne peut agir sur les dissolutions du protoxide de fer: si elles contiennent

un peu de peroxide, il se formera un précipité de sous-sel provenant du partage de l'oxigène. Le fer et le zinc semblent pouvoir se disputer le premier rang dans la série des affinités des métaux pour les acides : il est probable que la série des oxides est bien différente de celle-ci, qui est entièrement réglée sur le degré d'affinité des métaux pour l'oxigène.

224. Les différens degrés d'oxidation du fer présentent de nombreux obstacles dans les analyses et deviennent une source d'erreurs. Avant tout, il faut le porter au maximum d'oxidation et le traiter ensuite par les alcalis caustiques ou par les carbonates alcalins. Ces derniers le précipitent aussi très-bien, si la dissolution est suffisamment étendue d'eau. On calcule ensuite par le poids du peroxide obtenu, celui du fer métallique ou celui du protoxide.

225. *L'acide carbonique* n'exerce d'action ni sur le fer ni sur ses oxides, à moins que ce gaz ne soit combiné avec l'eau. Le protocarbonate de fer est soluble dans une grande quantité de ce liquide : la présence de l'acide carbonique libre le maintient long-temps en dissolution, à la température ordinaire ; sa permanence et sa solubilité sont augmentées aussi par les carbonates alcalins, probablement à cause de la tendance qui s'établit alors vers une formation de sel triple ou quadruple, ce qui empêche le protoxide de passer à l'état de peroxide. Peu à peu il se dépose un précipité jaune brunâtre composé de sous-carbonate de protoxide et de peroxide : ce précipité paraît d'abord à la surface du liquide, sous forme d'une légère pellicule, qui, colorée de toutes les nuances de l'arc-en-ciel, s'épaissit de plus en plus.

Le protocarbonate pur est entièrement blanc, mais il passe au jaune, quelque rapide qu'en soit la dessication. On ne peut donc l'obtenir, à un certain degré de pureté, par des moyens artificiels : la nature nous l'offre composé

de 38,53 d'acide carbonique et de 61,47 de protoxide. On ne connaît point de combinaison du protocarbonate avec l'eau.

Le carbonate de peroxide ne se présente ni dans la nature ni dans les laboratoires; attendu que tous les précipités obtenus au moyen des carbonates alcalins, sont souillés de protoxide et d'hydrate de fer.

Si les dissolutions de fer et de carbonate alcalin sont toutes deux très-concentrées, le précipité se redissout à l'instant; la liqueur qui devient claire et d'une couleur brune jaunâtre, est, d'après M. Dobereiner, susceptible de cristalliser. Ce sel liquide, connu depuis long-temps, s'appelle vulgairement *Teinture de Sthal.* Au lieu de cristaux réguliers, on obtient aussi des formes végétales désignées sous le nom d'*arbres de mars* (arborescentia martis). La liqueur ou le sel cristallisé est un composé quadruple d'oxide de fer, d'alcali, d'acide carbonique et de l'autre acide. Si la dissolution est convenablement étendue d'eau, l'oxide se précipite à l'état de sous sel. Il est assez remarquable que l'eau donne un moyen d'opérer cette décomposition.

226. *L'acide sulfurique* fortement concentré n'attaque pas le fer, à la température ordinaire; lorsqu'il est faiblement concentré, son action sur le métal est proportionnée à la quantité d'eau contenue dans l'acide; mais à 100°, le fer, en s'oxidant, commence déjà à le décomposer en oxigène et en acide sulfureux. Monnet prétend que l'acide sulfurique concentré, étant chauffé avec le fer dans un vase distillatoire, peut donner du soufre sublimé. Les deux oxides de fer ne se combinent avec l'acide sulfurique, qu'à la chaleur de 100°, et le protoxide se dissout plus vîte que l'autre.

A cette température, l'acide sulfurique étendu d'eau, agit sur le fer avec beaucoup d'énergie. Son action sur le

protoxide est moins forte, et le peroxide ne peut se dissoudre que par suite d'une longue ébullition, qui porte l'acide à un plus fort degré de concentration.

Le protosulfate et le persulfate de fer, dégagés d'eau, sont parfaitement blancs. Lorsqu'on ajoute à une dissolution de ces sels dans l'eau, une certaine quantité d'acide sulfurique, le protosulfate se précipe en grains et le persulfate, en aiguilles. L'un et l'autre deviennent alors presqu'insolubles dans l'eau, particulièrement le protosulfate qui, dans les circonstances ordinaires, possède une très-grande solubilité. Cet effet singulier a fait regarder le persulfate blanc comme un sel particulier; mais en l'examinant de plus près, on voit que c'est un persulfate anhydre et neutre *.

Le peu de solubilité du protosulfate anhydre retarde l'action de l'acide sulfurique sur le fer, parce que le sel qui se forme étant très-avide d'eau, l'enlève à l'acide, ce qui le rend tellement concentré que la dissolution finit par s'arrêter. On est donc forcé d'y ajouter de l'eau à plusieurs reprises, ce qui augmente la masse et retarde l'opération.

227. Le protosulfate neutre ou vitriol vert, dans son état de cristallisation, est composé de 25,43 de protoxide, de 29,01 d'acide et de 45,46 d'eau. La quantité de fer contenue dans le protoxide s'estime à 19,9; et celle du soufre dans l'acide sulfurique, à 11,56; il s'ensuit que le rapport du fer au soufre dans le protosulfate, est le même que dans le sulfure magnétique, dont la composition est 63 de fer et 37 de soufre (186). C'est pour cette raison que les pyrites communes, après avoir servi à la fabrication du soufre, sont employées à celle du vitriol.

* C'est une règle générale, que les sels qui ont perdu leur eau combinée, ne peuvent se dissoudre qu'à la longue et avec beauconp de peine. — Berzélius, sur la théorie des proportions chimiques, page 81 et suivantes. Le T.

La couleur du protosulfate de fer est le vert foncé bleuâtre : exposé à l'air, il se couvre bientôt d'une poussière tirant sur le jaune; c'est un persulfate avec excès de base. Ce changement s'opère encore avec plus de rapidité, si le sel se trouve en dissolution, et sur-tout si l'on y verse une certaine quantité d'acide nitrique. Une trop forte dose d'acide retarde la précipitation du sous-sel, sans toutefois s'opposer aux progrès de l'oxidation; la liqueur contient alors du protosulfate et du persulfate neutres. Ce sel double cristallise en rhombes couleur d'émeraude; la couleur verte résulte de celle des deux sulfates dont il est composé. La présence du fer à l'état métallique s'oppose à la formation de ce sel, elle augmente la quantité de protosulfate et donne lieu au précipité de sous-sel d'oxide.

Le vitriol, exposé à la chaleur, subit la fusion aqueuse, abandonne son eau de cristallisation, laisse dégager du gaz acide sulfureux, et donne enfin pour résidu de l'oxide rouge pur, c'est le rouge de *colchotar*. On voit d'après cela, que le vitriol à l'état naturel, ne peut servir à la fabrication de l'huile de vitriol, qu'on est obligé de le calciner d'abord, pour le convertir en persulfate et pour empêcher que ce changement ne se fasse aux dépens de l'acide.

228. Le persulfate à l'état liquide est connu sous le nom d'eau mère vitriolique. Elle contient encore beaucoup de sel de protoxide qui se change peu à peu en sel de peroxide et donne lieu au précipité de sous-sel. Pour les raisons que nous avons données plus haut (222), on ajoute volontiers du fer métallique aux eaux mères, dans la fabrication du vitriol, afin d'augmenter la quantité de protoxide. A l'état solide le persulfate est rouge jaunâtre, déliquescent, se dissout facilement dans l'alcool, contient, étant parfaitement sec, 60,58 parties d'acide et 39,42 parties d'oxide. Il se décompose au feu, laisse dégager alors de l'acide sulfurique, de l'oxigène et du gaz acide sulfureux.

Le sous-sulfate a une couleur jaune; chauffé, il passe au rouge par le dégagement de l'eau. Sous forme d'hydrate, il est composé de 21,7 d'eau, de 62,4 d'oxide et de 15,9 d'acide. Lorsqu'il a perdu son eau, il contient 79,61 d'oxide et 20,39 d'acide; ce dernier se dissipe, à une haute température, décomposé en oxigène, et en gaz acide sulfureux. Ce sel est employé ordinairement à la préparation de couleurs rouges ou brunes.

229. *L'acide sulfureux* attaque le fer en laissant dégager beaucoup de chaleur, sans qu'il y ait décomposition de l'eau: c'est aux dépens de l'acide que se fait l'oxidation du métal, de sorte qu'on n'obtient pas un sulfite pur, mais un composé de sulfite et de soufre. Traité par l'acide sulfurique ou par l'acide hydrochlorique, ce sulfite sulfuré laisse précipiter du soufre et dégager de l'acide sulfureux avec effervescence; exposé à l'air, il donne un précipité rougeâtre et des cristaux de protosulfite pur, qui dissous dans l'eau et soumis encore une fois à l'action de l'air, se changent, d'après Fourcroy, en protosulfate. Le protosulfite est insoluble dans l'alcool.

M. Vauquelin a fait usage de l'acide sulfureux pour déterminer la quantité de carbone contenue dans l'acier, parce que cet acide ne donne pas lieu à un dégagement d'hydrogène, ni par conséquent à une perte de la substance qui était l'objet de ses investigations. Mais ce procédé ne convient guère, parce que le précipité manque de permanence, que le carbone se trouve alors souillé d'oxide, enfin parce qu'il se précipite aussi du soufre qu'il est difficile de séparer du charbon.

230. *L'acide nitrique*, très-concentré, attaque le fer assez faiblement; mais à une concentration moyenne, il agit avec une grande énergie sur ce métal et laisse échapper des torrens de protoxide d'azote et de gaz nitreux. Il développe d'autant plus de protoxide d'azote et d'autant moins

de gaz nitreux, qu'il est plus étendu d'eau. Si l'on empêche le dégagement du calorique, on peut même obtenir, d'après Bucholz et Davy, une combinaison d'acide nitrique et de protoxide de fer: la dissolution colorée d'abord en brun foncé olivâtre par le gaz nitreux, blanchit à l'air, parce que ce gaz se change en acide nitrique.

Lorsqu'on emploie dans cette opération un certain degré de chaleur ou de l'acide nitrique concentré, on porte le fer au summum d'oxidation, et il se dépose une poussière jaunâtre, qui est un sous-nitrate de peroxide: la dissolution dont la couleur est brune, contient du pernitrate, n'est point susceptible de cristalliser, laisse précipiter du sous-sel par l'évaporation et devient quelquefois gélatineuse. Pour chasser l'acide entièrement, il suffit d'élever la température; on obtient l'oxide rouge pour résidu.

Le protoxide de fer digéré pendant plusieurs mois dans l'acide nitrique concentré, donne d'après Vauquelin, un pernitrate en petits cristaux incolores, sous forme de prismes quadrangulaires. Ce sel a une saveur très-forte, il est déliquescent; dissous dans l'eau il donne à la liqueur une couleur rouge.

Pour dissoudre le protoxide dans l'acide nitrique, il faut le laisser long-temps en ébullition, dans 32 parties de cet acide. Le peroxide s'y dissout aussi avec beaucoup de peine: il exige pour cet effet de la chaleur et un acide très-concentré.

M. Bucholz fait observer que la solubilité diminue avec la température et la concentration de l'acide; il fait remarquer en outre que l'oxide calciné se dissout très-difficilement. Cet auteur propose par cette raison, de se servir de l'acide nitrique étendu d'eau pour séparer des oxides de fer les substances solubles dans cet acide.

Pour obtenir une dissolution de protonitrate dans l'état de plus grande pureté, on précipite avec du fer pur l'argent

ou le plomb de leurs nitrates, et l'on sépare le métal de la liqueur par la filtration. La dissolution est d'un vert clair; mais à l'air elle se change facilement en pernitrate et dépose alors du sous-nitrate hydraté de peroxide de fer. Il paraît que hors du contact de l'air le nitrate d'argent ne serait pas décomposé.

231. *L'acide hydrochlorique* dissout le fer avec une grande activité, en laissant dégager du gaz hydrogène. Il se combine facilement avec le protoxide, ainsi qu'avec le peroxide, lorsque cet acide se trouve en assez forte dose et que la chaleur est suffisamment élevée: les produits sont des sels neutres.

Le peroxide récemment précipité se dissout dans l'acide hydrochlorique avec la plus grande facilité; mais s'il a été calciné, la dissolution est très-lente, à la température ordinaire.

On obtient l'hydrochlorate de protoxide immédiatement, en faisant dissoudre le fer à la température ordinaire, hors du contact de l'air: la liqueur est verte et claire, cristallise, après le refroidissement, par le simple effet de l'évaporation spontanée et fournit des cristaux en tables, de couleur vert d'émeraude, solubles dans l'eau et l'alcool; en contact avec l'acide nitreux, cette liqueur se colore en brun foncé et devient plus astringente; chauffée, elle dégage la majeure partie du gaz, ainsi qu'un peu d'ammoniaque, et donne un précipité rouge, qui est un sous-sel de peroxide.

Pour obtenir, selon Davy, l'hydrochlorate de protoxide de fer, sans mélange de perhydrochlorate, on dissout le protosulfure dans l'acide hydrochlorique; il en résulte un dégagement de gaz hydrogène sulfuré, qui empêche la liqueur d'absorber l'oxigène de l'atmosphère. Entretenue en ébullition avec l'acide nitrique, ou exposée à l'air, la dissolution s'oxide davantage, devient dans le premier cas du perhydrochlorate, et dans le deuxième de l'hydrochlo-

rate de protoxide et de peroxide, en laissant déposer du sous-hydrochlorate de peroxide de fer; ce précipité présente une couleur brune.

L'hydrochlorate de peroxide de fer a une couleur brun foncé; il n'est pas susceptible de cristalliser; il donne, étant évaporé jusqu'à siccité, une matière déliquescente rouge brunâtre, soluble dans l'alcool, ne pouvant absorber le gaz nitreux, agissant sur les substances animales et végétales comme le chlore, et se changeant par l'hydrogène sulfuré, en hydrochlorate de protoxide de fer. Cette matière déliquescente rouge brunâtre, étant étendue dans une grande quantité d'eau, se décompose et donne un précipité de sous-sel qui est en partie soluble; à une chaleur modérée, elle dégage du chlore et laisse un sous-sel d'oxide. Soumis à l'action d'une plus forte chaleur, elle se sublime en cristaux. C'est le perchlorure de fer dont la couleur et l'éclat ressemblent à ceux de l'acier.

Davy a montré qu'on obtient le perchlorure de fer, en laissant brûler du fer rouge dans le chlore. Il se forme alors des feuilles cristallines d'un éclat presque métallique, et bigarées comme le fer spéculaire de l'île d'Elbe. Ce corps se volatilise à une chaleur très-modérée, remplit le vase de cristaux en tables d'un grand éclat, et dont la forme n'a pas été déterminée. La présence de l'eau reproduit à l'instant l'hdrochlorate. A la chaleur rouge le chlore n'exerce point d'action sur le peroxide; mais il agit sur le protoxide à un plus faible degré de température, convertit une partie de ce dernier en peroxide par le déplacement de l'oxigène, et forme avec celle qui est réduite, du chlorure qui se sublime.

Le protochlorure et le perchlorure se forment, si l'on fait passer du chlore sur le fer chauffé au rouge, attendu que l'un et l'autre des deux composés se volatilisent.

Le protoxide de chlore agit sur le fer métallique, comme

le chlore lui-même; l'oxigène se dégage avec explosion, et le métal brûle dans le chlore, en répandant une lumière éclatante.

232. *L'eau régale* est le dissolvant ordinaire dont on fait usage pour analyser les substances ferrugineuses, parce qu'elle agit aussi bien sur le fer que sur les oxides de ce métal : il se dégage de l'hydrogène, du protoxide d'azote et du gaz nitreux. Après avoir chassé l'acide nitrique par l'évaporation, on obtient une liqueur qui contient le fer à l'état d'hydrochlorate.

233. *L'acide arsenique* n'exerce qu'une action faible sur le fer métallique et ses oxides ; c'est aux dépens de l'acide et non en décomposant l'eau, que le métal s'oxide; on obtient alors de l'arsenic blanc et même de l'arsenic métallique, si la température est assez élevée.

Le meilleur moyen de se procurer les arseniates de fer, consiste à décomposer les sulfates de ce métal avec les arseniates alcalins.

L'un et l'autre arseniate se rencontrent dans la nature : le sel du protoxide est vert et de forme cubique, l'autre a une couleur brune.

L'arseniate et l'arsenite de protoxide de fer, donnent des précipités blancs, insolubles dans l'eau, mais se dissolvant dans l'amoniaque caustique ou dans les acides minéraux, dont ils sont précipités par les alcalis. L'arseniate de protoxide se trouble à l'air, prend une couleur verte sale, se change en sous-sel d'oxide et en arseniate de protoxide et de peroxide. C'est du moins de cette manière qu'on explique le phénomène; cependant il serait possible que le changement de couleur provînt de la variation du contenu d'eau.

A une faible chaleur rouge, l'arseniate de protoxide et de peroxide abandonne une partie de son acide qui se dégage sous forme d'acide arsenieux, et il reste de l'arseniate de peroxide avec excès de base.

La poudre blanche et insoluble qui constitue l'arseniate de peroxide, renferme 17,68 parties d'eau, qu'elle perd par la chaleur, se changeant en une poudre rouge; c'est l'arseniate anhydre composée de 31,16 parties de peroxide et de 68,84 d'acide arsenique.

L'arseniate de peroxide précipité récemment, se dissout très-vite dans les acides et dans l'amoniaque caustique. On ne peut le décomposer en entier par des alcalis caustiques fixes. Il se forme toujours un sous-sel avec un grand excès de base, ressemblant au peroxide pur, et se composant, d'après M. Berzélius, de 13,4 parties d'eau, de 79,6 de peroxide et de 7 d'acide arsenique. Soluble dans les acides, il ne peut être dissous dans l'amoniaque. Le sous-arseniate ordinaire de peroxide s'obtient par l'arseniate d'oxidule, mis en ébullition dans l'acide nitrique et précipité par l'amoniaque. Sa couleur est rouge jaunâtre, la liqueur ne renferme plus une trace d'acide arsenique, si toutefois l'amoniaque n'a pas été employé avec excès. Ce sous-sel, soluble aussi dans les acides, ne se dissout pas non plus dans l'amoniaque caustique; mais les alcalis caustiques fixes le changent en sous-sel avec un plus grand excès de base.

Vu l'insolubilité du sous-sel, on a proposé de se servir du peroxide de fer pour déterminer les quantités d'acide arsenique contenues dans un liquide. On y ajouterait du peroxide dissous dans l'eau régale, en proportion telle qu'il pourrait se former un sous-arseniate, et on neutraliserait ensuite la liqueur avec l'amoniaque caustique, en prenant les précautions voulues. La différence entre le poids de l'oxide employé et celui du précipité soumis préalablement à la calcination, donnerait la dose d'acide d'arsenique cherchée. Ni l'arseniate neutre, ni l'arseniate avec excès de base ne sont solubles dans l'acide acétique.

234. *L'acide phosphorique* liquide attaque le fer avec énergie; ses oxides s'y dissolvent à la chaleur de l'ébullition.

Les phosphates de fer, qui ont beaucoup d'analogie avec les arseniates, s'obtiennent avec les dissolutions de fer traitées par des phosphates alcalins.

Le phosphate de protoxide se précipite en poudre blanche qui devient bleue étant exposée à l'air, et se change ensuite, d'après l'opinion généralement admise, mais non prouvée par les expériences, en sous-phosphate d'oxide et en phosphate de protoxide et de peroxide. La nature nous l'offre fréquemment en cet état ; il serait possible que le passage du blanc au bleu ne fût occasionné que par un changement dans la proportion d'eau. Le phosphate de protoxide est insoluble dans ce liquide, et soluble dans les acides, d'où on peut le précipiter soit en étendant la liqueur, soit en la saturant avec des alcalis. C'est par cette propriété qu'on peut reconnaître la présence du phosphore dans un minérai ou dans une dissolution d'acide sulfurique. On étend alors la liqueur avec de l'eau, on y ajoute un peu d'alcali et on la laisse en repos : il se forme peu à peu un précipité blanc qui prend plus tard une couleur bleue ; mais on ne peut faire usage de ce procédé ni pour doser le phosphore ni pour en découvrir même de petites quantités.

Les alcalis changent le protophosphate en un sous-sel de protoxide d'une couleur verte grisâtre.

Le phosphate de peroxide obtenu par les phosphates alcalins, se présente aussi sous forme de poudre blanche ; il est permanent à l'air, se colore en brun par la calcination, se dissout dans les acides minéraux, est insoluble dans l'eau et dans l'acide acétique. Les alcalis caustiques fixes le changent en un phosphate avec excès de base, semblable au peroxide, soluble dans les acides minéraux, mais insoluble dans l'acide acétique. Les alcalis le précipitent de toutes les dissolutions, sans qu'il reste dans la liqueur une trace d'acide phosphorique, lorsque les proportions entre cet acide et le proxide sont telles que le sous-phosphate

puisse se former. Il en arriverait ainsi, lors même que la dissolution contiendrait de la chaux, et qu'elle fût traitée par l'amoniaque caustique. Mais si le fer était à l'état de protoxide, il se précipiterait du phosphate de chaux.

235. L'action de *l'acide fluorique* ou *boracique* sur le fer et ses oxides n'est pas encore connue d'une manière assez précise. Le protofluate est insoluble dans l'eau; mais le perfluate s'y dissout très-facilement. L'un et l'autre borate sont insolubles dans l'eau. On a fait peu de recherches sur les combinaisons des oxides de fer avec les acides *molybdique, stanique, tungstique, chromique, tantalique,* etc.

L'acide sélénique attaque ce métal très-faiblement, d'après M. Berzélius, et le couvre d'une couche de sélénium.

236. On n'a pas non plus examiné les combinaisons du fer avec les acides *malique, subérique, lactique, mucique, formique, méllitique.*

L'acide acétique attaque le fer avec énergie et dissout facilement le peroxide non calciné; mais sa combinaison avec le protoxide ne peut se former qu'au moyen d'une longue ébullition. Le sel ne s'obtient même, d'après Davy, que par la dissolutiou du protosulfure de fer dans l'acide acétique. Il est avide d'oxigène, passe avec une grande facilité à un degré d'oxidation plus fort, et dépose alors du sous-acétate de fer hydraté. A l'aide d'une évaporation bien conduite, on peut le faire cristalliser en petits prismes verts: la dissolution ordinaire est un sel double. Le peracétate se distingue par une belle couleur rouge. Si l'on fait évaporer la liqueur avec soin, on obtient quelquefois des cristaux bruns rougeâtres très-déliquescens, mais le plus souvent une matière gélatineuse: l'un et l'autre sel abandonnent leur acide avant de parvenir au degré de la chaleur rouge.

La fabrication du peracétate employé dans la teinture, se fait immédiatement avec le fer et le vinaigre, ou par la

décomposition de l'acétate de plomb, à l'aide du vitriol vert. Au lieu de vinaigre ordinaire, ou de bierre aigre, etc., on peut se servir avec beaucoup d'avantage du vinaigre de bois, qui est un produit de la carbonisation.

237. *L'acide citrique* dissout plus promptement le fer que ses oxides. Le protocitrate est soluble dans l'eau : il donne une liqueur brune et cristallise si l'évaporation est très-douce; dans le cas opposé, la dissolution, d'après Vauquelin, noircit et se change en une substance solide, assez tenace étant chaude, et cassante après le refroidissement. Le percitrate, qui est très-soluble, a une couleur brune.

L'acide oxalique attaque le fer et ses oxides : le protoxalate est assez soluble, non permanent à l'air, et se change, sur-tout à la chaleur de l'ébullition, en sel de protoxide et de peroxide et en sous-sel de peroxide. Ce dernier est entièrement insoluble, et le premier ne se dissout qu'avec une extrême difficulté.

L'affinité du peroxalate de fer pour les oxalates alcalins, avec lesquels il forme des sels très-solubles, empêche de l'obtenir par la décomposition des oxalates alcalins à l'aide des sulfates ou des hydrochlorates de fer; la précipitation est toujours incomplète, c'est pour cette raison que l'acide oxalique ne peut servir de réactif pour séparer le fer des autres métaux, du manganèse par exemple. On a trouvé en Bohême le peroxalate dans un lignite friable.

L'acide tartarique agit avec plus de force sur le fer que sur le peroxide, et ne dissout le protoxide qu'après une longue ébullition. Obtenus par des échanges de bases, le prototartrate est sous la forme d'une poudre blanche très-légèrement verdâtre, et le pertartrate en poudre brune jaunâtre. L'un se change en l'autre par une plus forte oxidation de la base, ce qui donne naissance à un sous-sel.

Les alcalis précipitent le fer très-imparfaitement de sa

dissolution dans l'acide tartarique. Si l'acide est en quantité suffisante pour la formation d'un sel double, il n'y a point de précipitation; de sorte qu'on ne peut découvrir le fer que par les acides hydrosulfurique, hydrocyanyque et gallique. Cette propriété du fer fournit un excellent moyen de le séparer des corps qui, dans des circonstances semblables, résistent aussi aux alcalis, et dont les dissolutions ne sont pas même altérées par les sulfures alcalins.

Exposée à l'air atmosphérique, la dissolution du pertartrate dépose, d'après Bucholz, un sous-sel qui est brun foncé, couleur de quinquina, et la liqueur renferme un peracétate acidule soluble à froid dans $1\frac{2}{5}$ de son poids d'eau, et à chaud dans $\frac{7}{19}$. Les combinaisons du fer avec le tartre sont connues sous le nom de *Tartarus martiatus* ou *Chalybeatus Globuli martiales*, *Tinctura martis tartarisata*, etc., etc.

L'acide, sébacique ou *benzoïque* n'a pas encore été combiné directement avec le fer ni avec ses oxides. Le protobenzoate obtenu par la décomposition des sels neutres est assez soluble, sa couleur qui est le vert jaunâtre, devient de plus en plus foncée. Le perbenzoate de fer a une couleur rouge pâle, est presqu'insoluble dans l'eau à la température ordinaire et se décompose par l'ébullition en un sel acide soluble et en un sous-sel insoluble. Il s'ensuit que le précipité de perbenzoate ne doit pas être lavé dans l'eau bouillante. Le sel du protoxide et celui du peroxide sont solubles dans tous les acides. Les dissolutions de fer que l'on veut décomposer par les benzoates alcalins doivent être portées au summun d'oxidation et saturées complètement.

Nous manquons également d'expériences sur la combinaison immédiate du fer avec *l'acide succinique*. Les propriétés des succinates ressemblent parfaitement à celles des benzoates; ils sont aussi décomposés par l'eau bouillante.

La dissolution du protosuccinate de fer est jaune claire: exposée à l'air, elle se colore davantage et donne alors un précipité rouge foncé composé en partie de sous-sel et de persuccinate neutre. Ce dernier, lorsqu'il est pur, se présente sous la forme d'une matière boursoufflée, brune rougeâtre, et se change par une lente calcination en oxide, plus facilement que le benzoate de fer.

238. A l'état de vapeur, *l'iode* se combine, d'après Davy, avec le fer métallique et forme alors un composé qui est soluble dans l'alcool, l'éther et l'eau. Il paraît résulter des expériences de Collin, que l'iode comme le chlore, réduit une partie du protoxide et se combine avec le fer, tandis que l'autre partie est convertie en peroxide.

Mis en contact avec un métal qui ne serait point susceptible de s'oxider à un degré plus élevé, l'iode se partagerait aussi en deux parties: l'une acidifiée aux dépens d'une portion de l'oxide, se combinerait avec le reste et formerait un *iodate;* tandis que l'autre partie de cette substance composerait avec le métal réduit, un *iodure.*

L'acide hydriodique, qu'on obtient en chauffant dans une cornue un mélange d'iode et de phosphore humecté d'eau, se combine, d'après M. Gay-Lussac, à l'état gazeux, avec le fer métallique, abandonne l'hydrogène et forme alors un iodure de fer; mais si l'acide est liquide, le métal s'oxide aux dépens de l'eau et le résultat de la combinaison est un hydriodate de fer. Les hydriodates ont beaucoup d'analogie avec les hydrochlorates de fer.

239. *L'hydrogène sulfuré* ou le *gaz acide hydrosulfurique,* ne précipite point de leurs dissolutions les sels de protoxide de fer; mais il change les sels de peroxide en sels de protoxide, sans produire un précipité. Cet acide présente donc un assez bon moyen de séparer le fer de plusieurs métaux.

Au reste, on a déjà vu (185 à 187), que l'hydrogène

sulfuré réduit le fer oxidé et le change en sulfures de différens degrés de saturation.

Les hydrosulfures alcalins et terreux précipitent le fer de ses dissolutions, parce que les alcalis se combinent avec l'acide. Le précipité noir qu'on obtient a été pris long-temps pour un hydrosulfate, c'est-à-dire, pour un composé d'hydrogène sulfuré et de protoxide de fer; mais il est hors de doute que c'est un sulfure d'un degré de saturation variable. Exposé à l'air, il jaunit, parce qu'il se décompose et qu'une partie de soufre est mise à nu.

240. Les combinaisons immédiates du fer avec le cyanogène, ou de l'acide hydrocyanique avec les oxides de fer sont à peine connues. Il existait depuis long-temps dans les arts des composés de cyanogène avec le fer et d'autres corps, sans que l'on sût expliquer la nature de leurs compositions. Les cyanures que l'on connaissait d'abord, étaient ceux dans lesquel le fer est combiné avec le cyanogène en proportions telles que dans leur changement en hydro-cyanates, l'hydrogène de l'eau absorbée suffisait pour changer le cyanogène en acide, et l'oxigène de cette eau pour convertir le fer en protoxide. M. Gmelin a trouvé une seconde série de cyanures composée de manière, que le fer passe à l'état de peroxide par l'oxigène de l'eau, dont l'hydrogène change le cyanogène en acide hydrocyanique. Dans ces cyanures le fer retient une fois et demie autant de cyanogène que dans les autres. M. Berzélius a montré que dans la première série des cyanures doubles, le fer ne prend que la moitié de l'oxigène qu'absorbe l'autre base, ou bien que le fer n'est combiné qu'avec moitié autant de cyanogène que cette base. Les cyanures doubles cristallisés contiennent l'eau en proportion telle que son oxigène suffit exactement pour saturer les bases, et son hydrogène pour changer le cyanogène en acide hydrocyanique *. On peut donc regarder les

* Ceci a lieu effectivement pour le cyanure de potassium. Mais les au-

cyanures doubles renfermant de l'eau de cristallisation, comme des hydro-cyanates doubles qui se changeraient en hydro-cyanures, si le sel perdait ce liquide, soit par une température élevée, soit par la décomposition spontanée.

Il existe aussi des cyanures dont la base est si forte, que l'eau ne peut les changer en sel à la température ordinaire. Des cyanures à base faible, comme l'amoniaque, la glucine et plusieurs oxides métalliques, donnent des hydrocyanates qui, exposés à une température élevée, ne se changent plus en cyanures, sans qu'une partie du cyanogène ne soit brûlée aux dépens de l'oxigène des bases.

Les cyanures doubles des métaux qui ne se laissent pas réduire par le charbon à la chaleur rouge, comme le calcium et le potassium, conservent le cyanogène pendant la calcination et se changent, par la dissolution dans l'eau, en hydrocyanates simples, ou bien en cyanures simples; mais le cyanure de fer qu'ils contiennent se trouvant alors décomposé, laisse dégager son azote et se convertit en quadricarbure. Les cyanures doubles des métaux que la chaleur seule ne peut désoxider, donnent de l'azote et se changent entièrement en quadricarbure.—Les métaux précieux cèdent le cyanogène pendant la calcination et restent mêlés à l'état métallique avec le quadricarbure. Les hydrocyanates qui ne peuvent être changés en hydrocyanure donnent au commencement de l'opération de l'eau, de l'hydrocyanate et du carbonate d'amoniaque. Le fer reste d'abord à l'état de cyanure, passe ensuite à l'état de quadricarbure. L'autre

---

tres cyanures solides examinées par M. Berzélius ne contenaient pas tous l'eau de cristallisation en proportions telles que le cyanogène pouvait absorber l'hydrogène, et les bases l'oxigène de cette eau, dans leur conversion en hydrocianates. Le cyanure de *baryte et de fer* par ex. renferme à l'état de cristallisation deux fois autant d'eau et le cyanure double de chaux et de fer, quatre fois autant d'eau qu'il serait nécessaire pour qu'ils se convertissent en hydrocyanates par la décomposition de ce liquide. Le T.

métal retient une petite quantité de carbone, et une autre partie est brûlée aux dépens de l'oxigène de l'eau et de celui des oxides.

La décomposition d'un cyanure double ou d'un hydrocyaniate, effectuée par un acide plus fort, donne un sel acide composé d'un atôme de protoxide de fer et de 6 atômes d'acide hydrocyanique, contenant par conséquent 3 fois autant d'acide que le sel neutre. On a donné à ce corps le nom d'acide ferro-hydrocyanique. M. Berzélius le regarde comme un cyanure double de fer et d'hydrogène.

241. Parmi les cyanures doubles de la première série, les plus connus et les plus importants sont le cyanure de potasse et celui de sodium. Ils contiennent, comme tous les autres composés de cette série, 1 atôme de cyanure de fer et 2 atômes de cyanure de l'autre base. A ces 3 atômes il faut ajouter encore 6 atômes d'eau, lorsque le sel est cristallisé. Le ferro-cyanure de potasse renferme donc 12,85 parties de fer, 37,11 de potassium, 37,22 de cyanogène, et 12,82 d'eau : l'hydrocyanate contiendrait 16,54 de protoxide de fer, 44,68 de potassium, et 38,78 d'acide hydrocyanique. Anciennement on faisait usage de ce corps, pour analyser les minerais de fer; mais c'est un procédé très-incertain, parce qu'il faut avoir égard au fer contenu dans le réactif employé, parce que le précipité est composé d'une manière très-variable, d'après le degré d'oxidation du fer dissous dans la liqueur, enfin, parce qu'on ne peut déterminer avec exactitude la quantité d'eau retenue par le précipité.

Les sels de protoxide traités par les hydrocyanates doubles, donnent des précipités blancs qui deviennent bleus à l'air. Ils contiennent encore de la potasse et ressemblent à un sous-sel. Ils diffèrent essentiellement du bleu de Prusse par leur solubilité dans l'eau. Les précipités des sels de peroxide obtenus par l'hydrocyanate double, constituent le véritable bleu de Prusse, composé d'hydrocyanate de

peroxide et d'hydrocyanate de protoxide, en proportions telles que le peroxide contient deux fois autant d'oxigène que le protoxide. D'après mes expériences, cent parties de bleu de Prusse, séchées à la chaleur de l'ébullition, renferment 24,7 de peroxide.

242. Dans la deuxième série de cyanures, le fer et l'autre base sont combinés avec des quantités égales de cyanogène; de sorte que le cyanure double dissous dans l'eau, peut être regardé comme un sel double, dont les deux bases contiennent la même dose d'oxigène.

Le cyanure de fer et de potasse de la deuxième série, forme des cristaux brillants, d'une couleur rouge aurore, qui ne contiennent point d'eau, et qui par conséquent ne peuvent être considérés comme un hydrocyanate. Il renferme 35,68 parties de potassium, 16,48 de fer et 47,84 de cyanogène. Chauffé hors du contact de l'air, il laisse dégager du cyanogène et de l'azote, et se change en cyanure double de la première série. Il exige 38 parties d'eau pour se dissoudre.

Si, dans une dissolution aqueuse du premier ferro-cyanure de potasse, on fait passer du chlore, jusqu'à ce que la liqueur traitée par un sel de peroxide très-pur ne donne plus de précipité bleu, on obtient un liquide brun verdâtre, qui filtré et soumis à une très-lente évaporation, dépose des cristaux rouges jaunâtres, du bleu de Prusse et de l'hydrochlorate de potasse. Si le chlore passait trop long-temps au travers du liquide, l'hydrocyanate de potasse et de peroxide de fer, qui constitue la dissolution aqueuse de ces cristaux, se trouverait décomposé.

En appelant l'un des composés de fer, de potasse et de cyanogène, cyanure jaune, on pourra qualifier l'autre de cyanure rouge. Le premier donne par la dissolution dans l'eau, un sel de protoxide et de potasse, le deuxième un sel de peroxide et de potasse. Le cyanure jaune renferme 2 atômes de potassium, 1 atôme de fer et 6 atômes de

cyanogène; ou bien 4 atômes de potassium, 2 atômes de fer et 12 atômes de cyanogène. Si le chlore n'enlève qu'un atôme de potassium, il en restera 3, plus 2 de fer et 12 de cyanogène, dont la moitié est combinée avec les 3 atomes de potassium et l'autre moitié avec les 2 atômes de fer. Par la dissolution dans l'eau, il donne de l'hydrocyanate de peroxide et de potasse, parce que 12 atômes de cyanogène se chargent de 24 atômes d'hydrogène donnés par 12 atômes d'eau, et que 6 atômes d'oxigène se combinent avec les 3 atômes de potassium et les 6 autres atômes d'oxigène, avec les 2 atômes de fer *. C'est pour cette raison que le cyanure rouge, traité avec des sels de protoxide; donne du

* Nous avons dû compter les atômes d'après l'ancienne méthode, parce qu'elle a été conservée par l'auteur dans tout le cours de l'ouvrage, ce paragraphe excepté. On a vu effectivement (157, 160) que la composition du protoxide de fer est $Fe + 2O$, celle du peroxide $Fe + 3O$. M. Berzélius ayant réduit de moitié la pesanteur spécifique de l'atôme de fer et de l'atôme de potassium, représente maintenant le protoxide par $Fe + O$, le peroxide par $2Fe + 3O$ et la potasse par $K + O$. Si, par conséquent, dans l'ancienne formule

$$cy^2Fe + 2cy^2K + 6aq$$

on substitue pour Fe et K leurs nouvelles valeurs, qui ne sont que les moitiés des anciennes, il faudra diminuer aussi de moitié les quantités de cyanogène. Les deux premiers termes deviendront donc $cyFe + 2cyK$, mais la quantité absolue de matière atomistique qu'ils représenteront ne sera plus que la moitié de celle qui est représentée par les deux premiers termes $cy^2Fe + 2cy^2K$. Ainsi pour conserver le même rapport entre le cyanure et son eau de cristallisation, il faudra diminuer aussi de moitié la quantité d'eau. La formule sera par conséquent,

$$cyFe + 2cyK + 3aq.$$

En raisonnant d'après ces données, comme nous l'avons fait dans le texte, on sera conduit à l'expression

$$(3cy + 2F) + (3cy + 3K),$$

représentant le cyanure rouge, qui dissous dans l'eau, décompose 6 atômes de ce dernier, et se change en hydrocyanate de potasse et de peroxide de fer. Le T.

bleu de Prusse, comme le cyanure jaune, traité avec des sels de peroxide. Le cyanure rouge ne donne avec ces derniers sels qu'un liquide brun foncé.

Le cyanure jaune est un réactif très-puissant pour découvrir le peroxide de fer; le cyanure rouge agit avec une même énergie sur le protoxide, dont il revèle la moindre partie contenue dans un liquide. Enfin, l'un comme l'autre cyanure de fer, se combine non-seulement avec le cyanure de potasse, mais aussi avec un grand nombre d'autres cyanures.

243. Les sels de protoxide de fer, mis en contact avec *l'acide gallique,* ne donnent point de précipité, parce que le protogallate se dissout parfaitement bien dans l'eau, sans même y faire naître aucune couleur particulière; mais ceux du peroxide sont noircis à l'instant par cet acide, ou plutôt par le précipité de pergallate de fer, qui reste longtemps suspendu dans le liquide, vu son extrême ténuité. Les acides le dissolvent sans le décomposer, et lui enlèvent sa couleur, lorsqu'ils agissent avec une grande énergie; mais cette couleur noire lui est restituée par les alcalis.

Le *tannin,* qui ne produit dans les dissolutions de protoxide aucun changement, précipite instantanément le peroxide et lui donne une couleur bleue foncée. Cette combinaison du tannin avec le fer est soluble dans l'acide sulfurique, mais elle se dépose ensuite par l'effet de la saturation. Le tannin soutire probablement un peu d'oxigène à l'oxide, puisqu'il change le persulfate de fer en protosulfate.

Les plantes astringentes composées en partie de tannin et d'acide gallique, sont un puissant réactif pour déceler la présence du fer dans toutes les dissolutions. Si la quantité de métal contenue dans ces dernières est extrêmement faible, ce n'est souvent qu'au bout de plusieurs heures qu'on aperçoit le précipité violet.

244. Nous avons vu au paragraphe 214, qu'une goutte d'acide laisse sur l'acier une tache plus foncée que sur le fer; elle sera d'autant plus claire que le fer sera plus mou. Les acides, comme les couleurs du recuit, fournissent donc un moyen d'apprécier la dureté relative de ce métal, et de s'assurer de l'homogénéité d'une barre. On veut quelquefois faire ressortir à la vue les endroits durs et les mous; dans ce cas, on préfère l'emploi de l'acide nitrique, par les raisons que nous avons développées au paragraphe 214. Rinman propose, lorsqu'il s'agit de produire les dessins d'un damas fabriqué avec des lames d'acier et de fer, une liqueur composée de 1 $\frac{1}{2}$ livre d'eau, d'une once d'acide nitrique, d'un quart d'once de vitriol de cuivre et d'une demi-once de sel amoniac. Ses propres expériences lui ont prouvé qu'il en résulte un sablé noir et blanc, d'une beauté parfaite.

L'art de graver aux acides ne présente aucune difficulté, si l'enduit de cire ou de vernis, ainsi que les dessins gravés dans ces substances molles, sont bien exécutés. Les traits doivent avoir plus de profondeur pour être dorés. L'acide nitrique, qui produit un dépôt considérable de sous-sel, ne peut convenir aux graveurs, parce qu'il est difficile de faire sortir ce sel des raies fines où il reste incrusté: c'est pour cette raison que Rinman propose d'employer une dissolution composée de 10 onces d'eau, de $\frac{3}{4}$ d'once d'alun, de $\frac{3}{8}$ d'once de vitriol de cuivre, et de deux onces d'esprit de vitriol. Le cuivre déposé dans les traits du dessin, en est détaché facilement à l'aide d'une brosse; l'ouvrage devient très-net et le fer conserve tout son éclat.

Dans la fabrication des faux damas, on a pour but de faire les dessins en relief, afin d'imiter les vrais damas dont les parties dures sont toujours attaquées avec moins d'énergie que les autres (213); on dessine alors sur le fer les figures qu'on veut obtenir, avec un composé de blanc de

céruse et d'huile de térébenthine; cette peinture résiste aux acides, tandis que la partie non peinte en est corrodée. La dissolution dont un fait usage dans ce cas, est plus faible que la précédente. Rinman propose l'emploi d'un liquide composé de 5 onces de vinaigre, de $\frac{3}{4}$ d'once de sel amoniac et de $\frac{3}{8}$ d'once de vitriol de cuivre; ou bien aussi d'une livre de vinaigre, d'une $\frac{1}{2}$ once de vert de gris, d'une $\frac{1}{2}$ once de sel amoniac et de $\frac{3}{8}$ d'once d'esprit de vitriol.

245. On emploie aussi les acides pour décaper, c'est-à-dire pour nettoyer la surface du fer et la dégager de la couche de protoxide qui la couvre. On traitera cet objet en parlant de la fabrication du fer-blanc. Il résulterait de ce que nous avons exposé ci-dessus, que l'acide hydrochlorique remplirait ce but mieux que tous les autres, parce qu'il exerce une plus forte action sur le protoxide; mais sa cherté en restreint l'usage.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES ALCALIS.

246. Les alcalis fixes n'exercent point d'action sur le fer ni sur ses oxides par la voie humide. Il semble même que leur présence retarde la décomposition de l'eau.

A la chaleur rouge, la potasse et la soude sont désoxidées par le fer. D'un autre côté, la fonte mise en fusion avec les alcalis, se convertit d'abord en fer aciéreux et plus tard en fer pur, parce que le carbone est employé à leur réduction. Mais le fer n'entre point en combinaison avec les métaux alcalins, parce qu'ils ne sont pas assez fixes. C'est aussi pour cette raison qu'on n'obtient point d'alliage, quand on fond les alcalis et le fer avec addition de charbon.

Des expériences directes prouvent que les alcalis et leurs métaux ne peuvent avoir d'influence nuisible sur la qualité du fer. Un canon de fusil qui avait servi à la décomposition de la potasse et dans lequel on en avait désoxidé une assez

grande quantité, s'est laissé très-bien forger; le fer n'était ni rouverin, ni cassant à froid. Si le potassium se combinait avec le fer, on devrait en trouver dans tous ceux dont les minérais sont traités au charbon de bois; cependant ils n'en ont jamais donné une trace par l'analyse: si les moyens chimiques ne peuvent le faire découvrir, c'est qu'il est en très-petite quantité dans le métal; et cette petite quantité ne communique au fer aucun défaut.

247. M. Serullas, auquel on doit plusieurs expériences sur les alliages du potassium, a fondu un mélange de limaille, de tartre et de noir de fumée. Il prétend avoir obtenu de cette manière un composé de fer et de potassium, qui était gris et aigre. Mais, dans cette opération, le fer a pu se changer, soit en *fonte*, soit en *acier sauvage*.

Ni les laitiers des hauts fourneaux, ni la fonte obtenue au charbon de bois ne m'ont jamais donné une trace de potasse ou de potassium. Il paraîtrait donc que le potassium se trouve réduit dans le haut fourneau, se sublime ensuite, s'échappe soit par le gueulard, soit par le creuset. On peut effectivement recueillir la potasse déposée avec diverses substances volatiles, sur la tympe et les marâtres. Ces dépôts contiennent non-seulement du carbonate, mais aussi de l'hydrochlorate de potasse. D'après les expériences de M. Berthier, le sublimé recueilli sur la tympe, renferme beaucoup de potasse, lors même que le haut fourneau est activé par le coke.

Il serait possible toutefois que dans d'autres circonstances, dans les feux d'affinerie, par exemple, le fer se combinât avec le potassium ou le sodium. Pour m'en assurer j'ai fait ajouter à la fonte pendant l'affinage, 5 à 6 p. % de potasse et de soude. Le fer devint moins soudable et beaucoup moins tenace, bien qu'il ne contînt qu'une trace de ces alcalis. On ne pouvait douter que ce ne fût à leur influence qu'il fallût attribuer la mauvaise qualité du métal; mais on en est

d'autant moins surpris qu'on voit plusieurs autres corps qui, en très-petite dose, produisent sur le fer des effets analogues. Ces résultats sont du reste de peu d'importance pour les maîtres de forges; il n'arrivera jamais dans la pratique, que le fer puisse se trouver en contact avec de si grandes quantités d'alcalis.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES BASES TERREUSES.

248. Le fer n'agit point sur les *terres* par la voie humide; son action sur l'eau n'est point modifiée par les substances terreuses; aidé par la poussière de charbon, il les décompose à la chaleur de la fusion et il les réduit à l'état métallique. Cette désoxidation a-t-elle lieu par le fer ou par le charbon seul? Le fer sert-il seulement à recevoir les métaux réduits, et peut-il être remplacé alors par le cuivre ou l'argent? c'est ce que nous ignorons en partie.

249. De toutes les terres, c'est la *silice*, dont la nature a été le plus approfondie. Berzélius est parvenu à combiner le *silicium* avec le fer, par la cémentation de la limaille de fer dans la silice réduite en poudre fine et mêlée à la poussière de charbon. Le fer s'allie dans cette opération avec le silicium, comme dans de semblables circonstances, il se combine avec le carbone. Le silicium, d'après les expériences de ce chimiste, n'agirait pas d'une manière très-sensible sur la ténacité et la dureté du fer, mais il en diminue la pesanteur spécifique.

Les fers silicifères donnent, par la décomposition de l'eau, plus d'hydrogène que tous les autres; ce qui est très-naturel, puisque le silicium se charge à peu près de cent pour cent d'oxigène, tandis que le fer n'en peut absorber que 44 parties pour se changer en peroxide. Stromeyer a fait des recherches très-étendues sur les combinaisons du fer avec ce métal terreux; mais les résultats de ses expériences ne sont pas concluans.

On a lieu de croire que le silicium renfermé dans le fer cru, est chassé en grande partie par l'affinage : la fonte contient d'autant plus de ce métal terreux qu'elle est plus grise.

250. On a fait observer depuis, qu'à la température voulue pour convertir le fer ductile en acier, la silice se réduit et se combine avec le fer en même temps que le carbone. Cependant la présence de ce dernier n'est pas nécessaire ; car le fer pur fondu dans un creuset absorbe du silicium, qui le rend moins réfractaire. M. Muset a déjà remarqué que dans cette circonstance le fer devient dur, cassant et aciereux. M. Boussingault trouva dans le fer ductile, fondu dans un creuset de Hesse, plus de 1 pour cent de silice, ou plus de 0,54 pour cent de silicium. Il pense, vu l'accroissement de dureté que le fer silicifère reçoit de la trempe, que sa conversion en acier est due au silicium tout aussi bien qu'au carbone.

Les essais en petit, quelqu'intéressans qu'ils soient, conduisent souvent à des conclusions erronées. Il est facile de voir par les opérations en grand, que le silicium est très-nuisible à la qualité du fer, et qu'une grande partie des fers cassans à froid, doivent leur fragilité à une petite dose de ce métal terreux.

La ténacité du fer est déjà diminuée considérablement par la présence de 0,37 pour cent de silicium. J'en ai la conviction par un grand nombre d'analyses que j'ai faites sur des fers tendres qui ne contenaient, outre le silicium et une très-petite quantité de phosphore, aucune autre substance étrangère. De plus, mes expériences m'ont appris que l'action de la silice sur le fer est bien plus nuisible que celle du phosphore.

251. Il n'existe pour ainsi dire point de fonte obtenue immédiatement des minérais qui ne contienne du silicium, que du reste on n'a pas encore trouvé réduit dans les

foyers de fusion, sans qu'il ne fût combiné avec le fer. Lorsque la fonte le renferme en grande quantité, il s'en sépare à l'état de silice, présentant quelquefois une belle texture rayonnante, étoilée ou fibreuse, d'une couleur blanche et d'un éclat soyeux. Ces dépôts se trouvent toujours au milieu de la masse du fer cru, dans des cavités ou soufflures. Il est remarquable que le silicium n'ait jamais été rencontré à l'état métallique : où le titan même est désoxidé, on voit la silice non réduite. Les cristallisations qu'elle forme dans l'intérieur de la fonte, ont quelquefois un centimètre et demi d'épaisseur. On ne peut douter qu'elles ne soient la suite d'une seconde oxidation. La plus grande quantité de silicium que j'aie pu trouver dans la fonte la plus siliceuse était de 3,46 p. %. Une teneur de 1 p. % est déjà très-considérable. Le fer cru qu'on obtient des fourneaux à coke est en général plus siliceux que le fer cru des fourneaux activés au charbon de bois.

252. *L'aluminium*, en petite dose, ne serait pas nuisible à la qualité du fer, d'après les expériences de MM. Stodart et Faraday. Ces chimistes ayant trouvé dans l'acier des Indes, appelé wootz, ce métal terreux, lui attribuèrent les bonnes qualités du wootz, et préparèrent un acier alluminifère qui, disent-ils, possède les mêmes propriétés que l'acier des Indes.

J'ai fait ajouter de l'argile à la fonte, pendant l'affinage, et ces expériences en grand ont été répétées trois fois. La grande quantité de silicate de fer qui se formait dans le foyer par suite de cette addition, a retardé l'opération ; mais la qualité du produit n'en parut pas altérée d'une manière sensible. L'analyse faite sur le fer obtenu, n'a donné qu'une trace d'alumine, bien que par le procédé employé, on a dû trouver tout l'aluminium contenu dans le métal.

Au reste, les autres fers, aciers et fontes que j'ai analysés, ne m'ont jamais présenté que des traces d'alumine qu'il

était impossible de doser; mais les plus fortes traces se sont toujours trouvées dans les fers cassans à froid. Je ne puis donc douter que l'aluminium n'exerce une mauvaise influence sur la ténacité du fer.

M. Faraday a trouvé dans le wootz entre 0,024 et 1,3 p. % d'alumine. Ce chimiste a observé expressément, que le corps reconnu pour alumine, était soluble dans l'ammoniaque caustique et donnait de l'alun par une addition d'acide sulfurique. On ne peut donc supposer une méprise à ce sujet, bien qu'il paraîtra extraordinaire que la dissolution du wootz dans l'eau régale n'ait contenu que du fer, et que l'alumine se soit trouvée en entier dans le résidu, ce qui n'est pas très-d'accord avec les propriétés de cette terre. Une analyse du wootz véritable m'a donné des résultats tout différens. Dissous dans l'eau régale, il n'a laissé pour résidu qu'une trace de silice. La liqueur concentrée avec l'acide acétique en excès, laissa précipiter, par l'hydrosulfate d'ammoniaque, du fer et à peine 0,1 p. % de manganèse. Elle fut ensuite évaporée jusqu'à siccité. Par l'incinération, on a retiré du résidu obtenu 0,54 p. % de cendres blanches, composées d'acide phosphorique, de silice et d'oxide de titan; mais on put à peine reconnaître une trace d'alumine. Il résulte du moins de cet essai, que ce n'est pas à la petite quantité d'aluminium, qui pourrait exister dans le wootz, qu'on doit attribuer la bonne qualité des aciers indiens.

MM. Stodart et Faraday font observer que l'acier et le fer forgé se conduisent différemment dans leurs combinaisons avec d'autres métaux. Cette assertion est très-juste: il pourrait donc arriver qu'une petite dose de substances étrangères, insuffisante pour être nuisible à la résistance de l'acier, détériorât le fer. Peut-être en est-il ainsi de l'aluminium. Voici au reste le procédé indiqué par ces chimistes pour préparer un acier aluminifère: de l'acier pur ou mê-

me du fer forgé, réduit en petits morceaux et stratifié avec de la poussière de charbon, doit d'abord être soumis à une haute température soutenue long-temps. Il se forme des composés de fer et de carbone, d'une couleur gris foncé, ressemblant aux minérais de tellure, et présentant une texture cristalline dont les lames ont quelquefois quatre ou cinq millimètres de largeur. Plusieurs essais prouvent que ces carbures sont composés de 94,36 de fer et de 5,64 de charbon. Ce régule pulvérisé et mêlé avec de l'alumine doit ensuite être chauffé très-long-temps. On obtient alors un premier alliage blanc très-aigre, d'une cassure grenue, et renfermant 6,4 p. % d'alumine: 40 parties de cet alliage fondues avec 700 parties de bon acier, donnent un régule malléable, d'une excellente qualité et susceptible de prendre ce beau damassé qui distingue particulièrement le wootz. Un deuxième essai a été fait avec 500 parties du même acier et 67 parties de l'alliage d'aluminium. Le métal obtenu possédait toutes les qualités du meilleur wootz de Bombay.

253. Le *calcium* se conduit en quelque façon à l'égard du fer, comme les métaux alcaligènes. Le fer décompose la chaux à une haute température, sans que les métaux montrent l'un pour l'autre une grande affinité. Mushet a fait beaucoup d'expériences sur ces deux corps fondus ensemble dans des creusets. Le régule devenait toujours aigre et rouverin; mais on ne sait pas si le fer était chargé de calcium.

Le fer cru mis en fusion avec la chaux caustique, abandonne son carbone. Des essais d'affinage faits avec des additions de marbre de Carrare pur, m'ont prouvé que la ténacité du fer forgé s'était accrue; mais l'analyse a fait voir que ce fer ne contenait pas une trace de calcium, et que l'action du marbre s'était bornée à diminuer la quantité de phosphore contenue dans le métal.

D'autres essais de ce genre, faits avec une grande quantité de carbonate de chaux, ajoutée successivement et pendant

toute la durée du travail, ont montré que le fer avait perdu une partie de sa ténacité et qu'il était devenu moins soudable. Cependant ce fer n'était réellement ni rouverin, ni cassant à froid; mais il était pailleux et traversé de fentes longitudinales. L'analyse y découvrit 0,1774 p. % de calcium, quantité extrêmement petite, et qui pourtant était suffisante pour altérer la qualité du fer.

Il existe de la fonte obtenue de minerais exigeant une forte addition de chaux, dans laquelle on trouve quelques traces de calcium. Cependant ce métal terreux ne se combine avec le fer que dans des circonstances peu communes.

254. Je n'ai jamais trouvé de *magnésium* dans le fer ductile; mais plusieurs espèces de fonte m'en ont présenté des traces. Au reste, les praticiens n'auront rien à craindre ni de ce métal terreux, ni du *baryum*.

DE LA COMBINAISON DU FER AVEC LES AUTRES MÉTAUX.

255. Malgré le haut degré de chaleur qu'exige le fer pour entrer en fusion, il est peu de métaux avec lesquels on ne parvienne à l'unir. La loi qui règle les proportions des alliages, échappe à nos observations: rarement elle paraît constante. Il est assez probable que les métaux se combinent entre eux en proportions variables, selon le degré de température employé, et les composés sont ensuite modifiés par les circonstances du refroidissement. Au reste, nous voulons parler principalement de ces alliages dans lesquels l'un des métaux entre en petite quantité. Le cuivre et le plomb, l'étain et le plomb, le cuivre et l'étain, dans le métal à canon, etc., nous offrent des alliages en proportions indéterminées et constituant des mélanges, plutôt que des composés chimiques. Dans celui du cuivre avec peu d'étain, on voit de petits grains composés de beaucoup d'étain et de peu de cuivre disséminés dans toute la masse.

256. Le fer, qui s'allie à *l'or* dans toutes les proportions, n'en affaiblit pas la ténacité d'une manière très-sensible : douze parties d'or et une de fer ont donné un alliage qui, selon Hachette, était encore très-malléable. L'acier et la fonte ont produit avec l'or un résultat semblable. D'un autre côté, il paraît que ce métal ne communique au fer aucun défaut. D'ailleurs son influence ne peut être un sujet d'inquiétude pour les propriétaires de forges.

Messieurs Stodart et Faradey assurent avoir allié l'or en proportions très-variables avec l'acier, par une simple fusion ; mais aucun de ces composés ne parut présenter quelqu'avantage.

257. On suit différens procédés pour dorer le fer : on peut, après en avoir poli et bleui la surface, la couvrir d'une feuille d'or ; ou l'enduire d'abord d'un vernis, qu'on brûle après y avoir posé cette feuille ; ou faire précipiter sur le fer l'or dissous dans l'eau régale (dans ce cas, il faut d'abord étendre la dissolution avec l'éther sulfurique) ; ou enfin frotter le métal avec un amalgame d'or, et chasser le mercure par la sublimation ; *c'est la dorure par le feu.*

La dernière de ces méthodes exige que la surface du fer ait été couverte d'abord d'une légère pellicule de cuivre, à l'aide d'une dissolution composée selon la recette suivante, due à Rinman : deux onces d'acide sulfurique concentré, ou trois onces du même acide un peu moins fort, trois quarts d'once d'alun, un quart d'once de sel ammoniac, trois huitièmes d'once de vitriol de cuivre, une demi-once de vitriol de zinc, et cinq onces de vinaigre pur ; le tout dissous, à une chaleur modérée, dans trois livres deux onces d'eau de rivière. C'est avec cette liqueur et avec du mercure qu'on arrose le fer, jusqu'à ce qu'il commence à se couvrir d'une couche pâle, et qu'à sa surface il s'attache de petites gouttes du métal liquide. C'est alors seulement

qu'il est traité par l'amalgame. On peut sublimer le mercure par une température qui correspond à la couleur violette du recuit. La dorure au moyen des feuilles d'or réussit très-bien sur le fer couvert d'une légère couche du précipité de cuivre.

Il existe une autre espèce de dorure qu'on appelle *or haché ;* on l'effectue par incrustation.

258. Cinq parties d'*argent* peuvent se combiner, d'après Rinman, avec une partie de fer. L'argent, sans rien perdre de sa ténacité, devient alors plus dur, et servirait, selon le même auteur, avec plus d'avantage à la confection de boucles, de couteaux pour trancher les fruits, etc. Mais il ne peut être chargé d'un tiers de fer par une simple fusion. Un alliage de 5 à 6 parties d'argent et de 1 de fer est aussi magnétique que le fer pur. Coulomb trouva que l'argent contenant $\frac{1}{320}$ de fer, pouvait agir sur l'aiguille aimantée. On prétend même que l'argent extrait du muriate d'argent, manifeste encore une légère action sur l'aiguille, bien que d'après le calcul il ne contienne que $\frac{1}{113319}$ de fer. Gellert prétend que ces deux métaux s'allient très-facilement l'un à l'autre; Morveau pense que maintenus ensemble en fusion, ils finissent par se séparer selon leur pesanteur spécifique, formant deux culots distincts dont l'un se compose d'argent ferrugineux, et l'autre de fer argentiféré.

Selon Coulomb, l'argent ne peut retenir que $\frac{1}{150}$ de fer, et le fer selon Morveau, $\frac{1}{80}$ d'argent, qui lui donne une grande dureté et une fort belle texture.

Presque tous les métallurgistes pensent que l'argent ne peut être nuisible au fer. Mais les essais d'affinage qui ont eu lieu dans la Haute-Silésie, ont cependant présenté d'assez mauvais résultats par suite d'une addition à la loupe d'un et demi pour cent d'argent le plus fin. Le travail au feu n'était pas plus difficile qu'à l'ordinaire, mais le fer se forgeait mal, présentait des pailles et des solutions de con-

tinuité ; les barres étaient criquées sur leurs arêtes, et ressemblaient assez au fer rouverin : après le refroidissement, elles offraient beaucoup de résistance. Sur dix barres, on n'a pu en recevoir que trois. L'essai d'affinage a été fait avec 134^k de fonte et $1^k,98$ d'argent fin.

Le fer obtenu par cet essai, se dissolvait dans l'eau régale sans laisser de résidu. Etendue de beaucoup d'eau, la liqueur donna par le gaz hydrogène sulfuré, un précipité incolore dont le résidu laissé après la calcination, fut dissous à la chaleur de l'ébullition dans l'acide nitrique, et traité par le sel marin. C'est par ce moyen seulement qu'on a pu déterminer la petite quantité d'argent contenue dans le fer. On y trouva 0,034 p. %. L'argent agit donc sur le fer d'une manière presque aussi nuisible que le soufre.

259. Il est certain, vu les expériences de Rinman, que l'argent peut se charger de 20 p. % de fer ; mais il n'est pas encore prouvé que le fer puisse former des alliages homogènes avec des quantités d'argent très-petites, et il n'y a point de doute, d'après ce qui précède, que ces alliages ne fussent de mauvaise qualité.

MM. Stodart et Faraday ont trouvé que l'acier s'alliait très-difficilement à l'argent par une simple fusion effectuée dans un creuset. Si les deux métaux sont tenus long-temps en bain, on obtient un composé qui, à l'état liquide, semble parfaitement homogène. Dès que le métal se solidifie, on voit renaître des grains d'argent pur sur la surface du régule, et dans l'intérieur, il s'y trouve en filets minces qui paraissent comme soudés avec l'acier. L'alliage semble donc imparfait. Le couvercle du creuset est tapissé de petits globules d'argent semblables à une rosée. On essaya d'abord l'alliage qu'on avait fait avec une partie d'argent et 160 parties d'acier. Pendant le forgeage il se sépara de nouveaux globules ; les barres s'oxidèrent promptement à l'air ; la proportion d'argent trouvée n'était que de 1 sur 200, et

cependant la masse parut composée de filets, de ramifications et de petits globules d'argent. Ces accidens moins sensibles dans l'alliage de 1 à 300, le furent encore dans celui de 1 à 400 d'acier. Mais lorsque la proportion ne fut plus que 1 à 500, on obtint un régule parfaitement homogène, qu'on pouvait forger sans difficulté et dont les barres examinées avec une forte loupe, ne montrèrent plus une trace de globules ni de filets. C'est par une suite de tâtonnemens qu'on est parvenu à ce résulsat. Cet alliage de $\frac{1}{500}$ ou de 0,2 p. % d'argent est, d'après MM. Stodart et Faraday, plus dur que le meilleur acier fondu, il l'est même plus que le wootz, ne se criquant pas sur les arrêtes, ni par le forgeage ni par la trempe.

260. Après avoir poli le fer, on peut l'argenter avec des feuilles d'argent, qu'on brase à sa surface au moyen d'une soudure composée de quatre parties d'argent fin et de deux ou trois de cuivre jaune. On fait usage d'une soudure d'étain, si les objets sont étamés et que les aciers ne puissent supporter le degré de chaleur requis pour la soudure ordinaire, sans perdre une partie de leur dureté.

On peut argenter aussi avec les amalgames, en couvrant d'abord la surface du fer d'une couche de cuivre précipité, comme pour la dorure. L'argenture devient très-solide, si au lieu d'employer l'amalgame, on opère à froid, en frottant avec de la poudre à argenter, le fer couvert de cette couche de cuivre, jusqu'à ce qu'il n'existe plus une trace de couleur rouge: on obtient cette poudre en mêlant une partie d'argent précipité d'une dissolution, à l'aide du cuivre, avec quatre de tartre et quatre de sel marin.

261. Le fer ne s'allie au mercure que dans des circonstances très-particulières. On peut obtenir un pareil alliage, d'après M. Aikin, en décomposant l'hydro-chlorate de fer par le frottement avec un amalgame de zinc.

262. On n'a pas encore fait d'essais pour allier le platine

au fer, vu le haut degré d'infusibilité de ces deux métaux. La combinaison de l'acier avec le platine a été effectuée par MM. Stodart et Faraday. Le mélange entrait en fusion à un degré de chaleur au-dessous de celui qui est nécessaire pour fondre l'acier. Quelles que soient les proportions employées, l'alliage devient homogène, si la fusion a été complète. Lorsque les deux métaux, sont pris en quantités égales, le composé est susceptible de recevoir un superbe poli, et peut servir à la confection des miroirs métalliques: sa pesanteur spécifique est de 9,862. Avec 90 parties de platine et 20 d'acier, on obtient un alliage *homogène* dont la pesanteur spécifique est de 15,88; avec 10 parties de platine et 80 parties d'acier on obtient un composé qui prend un beau poli, mais qui ne peut servir à la confection de miroirs, parce qu'il est *damassé*. Les proportions de platine les plus convenables pour l'acier qui doit servir à la fabrication d'objets tranchans, paraissent comprises entre 1 et 3 p. %. Tous ces alliages ne sont guère sujets à se rouiller, ce qui les distingue de la manière la plus avantageuse. Celui qu'on obtient avec une partie de platine et 99 parties d'acier, paraît être moins dur que l'acier employé; mais il possède une plus grande ténacité.

263. Le *cuivre* peut se combiner avec une petite quantité de fer et vice versa. Il ne diminue guère la vertu magnétique du fer, puisque de très-faibles doses de celui-ci contenues dans le cuivre, se font encore sentir sur l'aiguille aimantée. Le maximum de cuivre qui peut s'allier au fer, et l'influence qu'il exerce sur les propriétés de ce dernier, sont encore un sujet de contestation. Il est bien reconnu cependant que le cuivre augmente la ténacité et la dureté de la fonte. Rinman voudrait par cette raison qu'on l'alliât au fer cru, pour la confection des ancres, des pilons, des enclumes, des cylindres, etc., etc.

Rinman, dans un endroit de son ouvrage, prétend que

le fer ductile devient rouverin par la présence du cuivre; ailleurs il le nie. Levavasseur a découvert du cuivre dans un fer rouverin. Hassenfratz a trouvé par une combinaison directe, que l'alliage de ces deux métaux est rouverin et cassant à froid; mais il n'en fixe point les proportions. La plupart des hommes qui pratiquent l'art des forges, croient fermement que le cuivre rend le fer rouverin, qu'un petit morceau de ce métal, détaché de la tuyère par la négligence des affineurs, peut détériorer une loupe entière.

264. Dans les forges de la Silésie, j'ai fait des essais d'affinage, en ajoutant d'abord à la fonte un demi p. % de cuivre. La flamme présenta une couleur verte, pendant toute la durée de l'opération; la loupe fut très-belle, le fer s'étira, sans recevoir de criques, et soutint parfaitement les épreuves; enfin le cuivre ne parut influer sur sa ténacité ni à froid ni à chaud.

On recommença cet essai avec 1 p. % de cuivre, on eut de la peine à cingler la loupe; elle fut portée 4 à 5 fois au feu et parut cependant mal soudée. Une barre chauffée au rouge et plongée dans l'eau, laissa dégager une flamme colorée en bleu; parmi 8 barres, 6 résistèrent aux épreuves: les deux autres se brisèrent aux endroits criqués.

L'analyse indiqua 0,286 p. % de cuivre dans ce dernier fer. Nous pouvons conclure de ces faits que le cuivre ne produit pas des effets aussi désavantageux qu'on le pense en général. Cependant il diminue la ténacité du fer plus que ne le fait le phospaore et nuit surtout à la soudabilité.

Un objet digne de remarque, c'est que le fer cuivreux, toutes choses égales d'ailleurs, demande 6 fois plus de temps pour se dissoudre dans l'acide sulfurique et l'eau régale que n'en exigerait le fer ordinaire.

265. MM. Stodart et Faraday ont allié l'acier à 2 p. % de cuivre; mais le métal obtenu ne semblait présenter aucun avantage. Bien qu'on ait vanté quelquefois l'acier cui-

vreux, il paraît qu'il est inférieur à l'acier pur, quand ce dernier est de bonne qualité.

M. Vazie recommande l'alliage de la fonte avec 1 p. % de laiton pour des objets qui, soumis à l'action d'une eau corrosive, sont exposés à se détériorer par la rouille. Cet alliage est plus dur que la fonte. On peut donc l'employer aussi pour des cylindres de machine à vapeur et, en général, pour des parties de machine exposées à un frottement considérable. Des expériences, faites sur cet objet à Gleiwitz, en Silésie, ont donné de bons résultats.

266. Bien qu'on ait de la peine à former des alliages de cuivre et de fer, il existe pourtant beaucoup d'affinité entre ces deux métaux, puisqu'on emploie l'un pour braser ou joindre ensemble deux morceaux de l'autre. Le cuivre est quelquefois remplacé dans cet emploi par le laiton, qui est doué d'une plus grande fusibilité.

On a vainement essayé de donner au fer une enveloppe de cuivre coulé, ou de le couvrir d'une couche de ce métal par la voie humide, en se servant du vitriol de cuivre. Le plaquage et les incrustations ont eu plus de succès; ces opérations se réduisent au reste à liquéfier, au moyen du borax, le cuivre qui doit remplir les ciselures pratiquées dans le fer.

267. Le *plomb*, d'après Rinman, peut se combiner avec une très-petite quantité de fer, et acquérir alors une plus grande dureté; mais ce métallurgiste ne parvint à faire ni cette combinaison ni la combinaison inverse, au moyen d'une simple fusion : il n'y réussit qu'en provoquant une action plus intime des molécules, soit en faisant servir le fer à la réduction du plomb, soit en mêlant les oxides et en les réduisant tous les deux avec de la poussière de charbon.

Guyton Morveau a obtenu depuis deux culots distincts, en fondant le fer avec le plomb: l'un composé de plomb

et d'un peu de fer, l'autre de fer et d'un peu de plomb; ce chimiste n'en donne pas les proportions.

Les minérais de fer contiennent souvent du plomb : il est donc important de bien connaître les propriétés de l'alliage de ces métaux. Traités dans les hauts fourneaux, ces minérais donnent du plomb réduit qui, à la fin de la coulée, sort du creuset avec le fer cru. Après la mise hors, on le trouve sous la pierre de fond, soit en nature, soit oxidé, et même transformé en très-beau minium, soit enfin à l'état de silicates cristallisés.

Dans mes propres expériences, je n'ai jamais réussi à combiner ces deux métaux par une simple fusion; le fer ductile sans charbon ne fondait point; avec une addition de ce combustible en poussière, je n'obtenais comme avec le fer cru, que du plomb et de la fonte blanche, qui n'en contenait pas une trace. La litharge réduite avec *du fer cru* en excès, m'a donné le même résultat, plus une certaine quantité de scories composées de l'un et de l'autre métal. En substituant *le fer ductile* au fer cru, j'ai obtenu avec la litharge un alliage par une très-haute température : le culot parfaitement bien fondu, était enveloppé de tous côtés par le plomb; les scories étaient noires et contenaient une partie des deux métaux. Voici le terme moyen des résultats de cinq essais différens que j'ai faits avec 100 parties de fer ductile et 300 de litharge :

Culot de plomb, 239 parties, au lieu de 278,55; par conséquent 39,55 parties de plomb ont été vitrifiées;

Culot de fer, 22,5; il s'ensuit que 77,5 parties de fer à l'état de protoxide, combinées avec 22,8 d'oxigène, sont entrées en vitrification. Mais les 239 parties de plomb ne pouvaient fournir que 17,1 d'oxigène, à raison de 7,15 pour cent; le reste provenait donc de l'air renfermé dans le vase, ou de celui qui s'y serait introduit pendant l'opération : il est possible même que la matière du creuset en ait cédé une certaine quantité.

Le culot de fer n'avait point les propriétés du fer ductile ordinaire : sa texture était lamelleuse, on pouvait le forger légèrement, mais bientôt il montrait de fortes crevasses ; il était aigre, ne possédait aucune dureté, se dissolvait sans donner le moindre résidu dans l'acide nitrique, et ne contenait par conséquent point de carbone. Saturée par l'ammoniaque caustique et traitée ensuite par le sulfate de potasse, la dissolution donna 2,8 pour cent de sulfate de plomb contenant 2,06 de métal ; de sorte que ce régule, qui avait quelque ressemblance avec la fonte, était composé de 97,94 de fer et de 2,06 de plomb.

Le culot de plomb obtenu par la réduction de la litharge, a été dissous à chaud dans l'acide nitrique et traité par le sulfate de potasse. Après avoir neutralisé la dissolution, on s'est débarrassé du sulfate de plomb au moyen de l'évaporation ; la liqueur ayant été ensuite saturée, neutralisée et traitée par le benzoate de soude, n'a laissé apercevoir aucune trace de fer.

Il résulterait donc de ces expériences que, par une simple fusion, le plomb et le fer ne peuvent s'allier entre eux ; que la fonte ou le fer carburé en réduisant la litharge, ne donnent lieu à aucun alliage, mais que le fer pur placé dans les mêmes circonstances, peut retenir jusqu'à 2,06 de plomb, ce qui le rend plus aigre et plus fusible sans le durcir. Enfin que le plomb, dans l'un ni dans l'autre cas, ne peut s'unir à une petite quantité de fer ; résultats qui sont opposés à ceux de Rinman et à ceux de Guyton-Morveau.

Il paraît même que le plomb obtenu par la réduction des scories, ne doit pas sa dureté ou son aigreur à un contenu de fer, ainsi qu'on le pensait généralement.

268. Le fer n'acquiert donc aucun vice par la présence du plomb dans les minérais, si toutefois on les traite dans les hauts fourneaux pour en obtenir de la fonte, puisque le plomb et le fer cru ne peuvent se combiner ensemble.

En décomposant des fers crus, qui provenaient de minérais plombifères, l'analyse ne m'a jamais montré la plus légère trace de plomb. Cependant, il est possible qu'une très-faible dose échappe aux opérations du chimiste; d'un autre côté, comme cet alliage existe pour le fer pur, on ne peut qu'applaudir aux efforts des métallurgistes qui, à ce sujet, firent des expériences synthétiques.

Hassenfratz a fait des essais sur le plomb, le cuivre et d'autres métaux, mis dans de petits canons de fer, qu'il a soumis ensuite à la chaleur blanche: c'était un moyen de cémenter le fer en quelque sorte par la vapeur des métaux étrangers. Mais quelque intéressantes que soient ces expériences, elles perdent de leur prix, parce que cet auteur ne donne aucun renseignement sur les proportions des alliages obtenus; il n'indique ni le poids du plomb employé, ni le poids du canon avant et après l'opération. Ce sont cependant ces proportions qu'il est nécessaire de connaître; car il est possible que le fer ne soit détérioré que par une forte dose de certains métaux étrangers, et que le sidérurgiste praticien n'ait alors rien à craindre de leur influence. Traité de cette manière avec le plomb, le fer se forgeait difficilement; il était rouverin et cassant à froid.

Dans les essais d'affinage que j'ai faits en Silésie, on a ajouté à la fonte pour le premier essai 1 p. % de plomb, et pour le deuxième 1 p % de litharge. Le fer obtenu n'avait aucun défaut; mais l'analyse n'a pas présenté une trace de plomb, et l'hydrogène sulfuré l'aurait fait découvrir facilement. Ces expériences répétées une troisième fois avec 2 p. % de litharge, ont offert les mêmes résultats *.

269. En fondant le fer avec *l'étain*, à une dose quelcon-

* Dans les expériences de Hassenfratz, on forçait, pour ainsi dire, les métaux de se mêler dans des proportions autres que celles qu'ils auraient choisies, si, à l'état liquide, ils s'étaient trouvés abandonnés à l'action de leurs molécules. Le T.

que, on obtient toujours deux alliages distincts dans des proportions constantes; l'un se compose de vingt-une parties d'étain et d'une de fer, l'autre de deux de fer et d'une d'étain. Le premier est malléable et plus dur que l'étain, sans être aussi brillant, l'autre est très-peu malléable et trop dur pour être rogné avec le couteau.

La fonte contenant de l'étain a une texture aussi fine que l'acier; très-sonore, elle peut recevoir un très-beau poli, possède une grande dureté sans se fendre aussi facilement par les secousses et sans se rouiller aussi vîte que la fonte ordinaire. Rinman propose de l'employer pour plusieurs objets d'ornement, pour des miroirs métalliques et pour des cloches sur-tout; parce qu'elle possède une grande fusibilité.

Hassenfratz a combiné l'étain avec le fer ductile par le procédé cité au paragraphe précédent; il a trouvé que le fer imprégné d'étain ne peut se forger et qu'il tombe en pièces sous le marteau. Une feuille de fer-blanc placée entre deux feuilles de tôle a produit le même effet.

Nous avons fait à ce sujet des essais d'affinage dans les forges de la Silésie: il en est résulté qu'un pour cent d'étain ajouté à la fonte, rend le fer extrêmement fragile à froid; mais il n'est point rouverin et il se laisse très-bien forger à chaud, en donnant continuellement des vapeurs blanches qui se condensent sur l'enclume et le marteau. L'analyse n'a montré que 0,19 p. % d'étain dans ce fer dont la résistance était considérablement diminuée. Une même quantité de phosphore ne produirait point d'effet sensible sur la qualité du fer. Il faut donc se défier de l'étain: on le rencontre souvent en affinant la ferraille.

MM. Stodart et Faraday font observer que les alliages d'étain et d'acier ne présentent rien de remarquable.

270. L'étain manifeste déjà son affinité pour le fer à la température de la fusion; il s'attache alors à la surface de ce

métal et fournit ainsi un excellent moyen de la protéger contre la rouille ; c'est ce qu'on appelle *étamage* ou *mise au tain*. On étame aussi le fer cru ; mais la fonte blanche ne peut être employée pour la confection des ustensiles, à cause de sa fragilité, et la fonte grise étant trop poreuse, donne toujours un étamage imparfait*. On est obligé de polir sur le tour la surface des objets en fonte qu'on veut étamer, afin de couvrir, ou plutôt d'empâter de fer, les petites feuilles de graphite qui ne se combineraient pas avec l'étain. La fonte tournée paraît entièrement homogène, comme il en arrive du métal à canons, bien qu'à la cassure il présente aussi l'aspect d'un mélange.

La mise au tain de la tôle constitue une branche importante de la sidérurgie ; elle aura sa place dans le cours de cet ouvrage. La théorie de cette opération est très-simple : elle consiste à combiner le fer avec l'étain par une température convenable. La difficulté consiste à donner à la surface étamée l'éclat le plus brillant. On peut aussi moirer le fer-blanc, ou lui communiquer un aspect cristallin ; cet art, qui date de 1815, fut découvert par M. Alard.

271. Le fer trempé dans le *zinc liquide*, se couvre d'une couche de ce métal ; cependant on n'a pu encore les allier, soit par la fusion, soit par la réduction simultanée de leurs minérais. Le zinc, d'après Rinman, doit ramollir le fer et le rendre aigre ; mais cet auteur pense qu'une combinaison véritable entre ces deux métaux est encore douteuse. Plus tard, Gmelin a fait aussi des essais infructueux pour les allier par la fusion.

Le fer pur ne peut réduire les oxides de zinc, et si l'on emploie la fonte, on obtient du fer demi-affiné. Le zinc réduit s'échappe en vapeurs, et la majeure partie de son

* En Angleterre j'ai vu étamer des cargaisons entières d'objets culinaires qu'on envoyait en Italie, etc. Voy. ma note ajoutée au parag. 153. Le T.

oxide s'unit à celui du fer et forme des scories noires bleuâtres. M. Hollunder a fait aussi tout récemment des essais sur la combinaison du fer avec le zinc.

272. On traite, dans plusieurs usines, des minérais de fer contenant du zinc: il est donc intéressant pour le sidérurgiste de connaître et la possibilité d'une semblable combinaison et la nature de ses résultats. Les vapeurs qui s'échappent des hauts fourneaux, sont une preuve incontestable que la majeure partie du zinc est chassée à l'état d'oxide. Une grande partie de cet oxide mêlée avec du zinc réduit, se condense dans les régions supérieures de la cuve; si les minérais contiennent du plomb, on trouve de petits globules de ce métal renfermés dans le dépôt, qu'on appelle *cadmie* ou *tuthie*.

Quand la cadmie commence à engorger la cheminée, on la détache, et on en extrait le zinc qu'elle donne en grande quantité. L'expérience a prouvé depuis long-temps, que des fragmens de cette matière tombés dans le fourneau, nuisent à la qualité de la fonte; mais cet effet n'est dû qu'au refroidissement produit par la sublimation du zinc. D'un autre côté, on ne peut douter que le zinc ne s'allie à une petite quantité de fer; on n'en trouve presque jamais qui soit entièrement purgé de ce dernier métal, lors même qu'on le retire de la calamine traitée dans des vaisseaux distillatoires; la présence du fer le rend plus dur et plus aigre. Liquéfié dans des chaudières de fonte, à une forte chaleur, et refroidi lentement, il absorbe quelquefois 2 ou 3 pour cent de fer qui lui donnent une si grande dureté, qu'on peut le réduire en poudre.

273. Pour avoir une idée plus juste de l'influence du zinc sur le fer, j'ai fait des essais en grand, à la forge dite Kœnigshütte, dans un des hauts fourneaux allant au coke. On y a fondu 32 milliers de calamine, contenant 16 pour cent de zinc et 31 de fer, trop pauvre par conséquent pour pouvoir

être traité pour zinc: je n'ai ajouté à cette espèce de minérai de fer, ni fondant ni aucun assortiment. Les vapeurs sortaient du fourneau par torrens; une flamme verte bleuâtre s'élevait à douze ou quinze pieds au-dessus du gueulard; la bouche de la tuyère était continuellement couverte d'une voûte de matières durcies: mais en diminuant les charges, on a élevé la chaleur au point que les laitiers d'une couleur bleu foncé, étaient souvent pierreux dans leur cassure.

La flamme de la tuyère ne semblait que légèrement modifiée par la combustion du zinc; le fer cru sortait du creuset avec beaucoup de vivacité et présentait d'abord l'aspect de la meilleure fonte grise, mais il était très-rouge et se refroidissait si promptement qu'il pouvait à peine couler dans les rigoles. Après le refroidissement, sa surface supérieure se trouvait couverte d'une croûte assez épaisse; signe d'une forte oxidation: d'un autre côté, des dépressions, des excavations considérables, annonçaient le haut degré de chaleur dont il avait été pénétré. Sa cassure était grenue, brillante, et ressemblait à celle de la fonte grise; pris en masse, il était doux, susceptible de recevoir l'impression du marteau, sans offrir cependant une grande résistance; réduit en pièces, on le divisait facilement en petits morceaux, preuve de la faible cohérence qui régnait entre les grains; il ne répandait en coulant ni flamme ni odeur.

L'allure du fourneau ne fut point dérangée d'abord par la présence du zinc; mais deux jours après que les essais furent terminés, on vit sortir du gueulard et de l'avant-creuset une grande quantité de vapeurs; et la flamme, particulièrement à la tympe, reprit l'éclat de celle du zinc en combustion. Bientôt, et sans que le *chargement fût changé*, le fourneau se trouva considérablement refroidi, la fonte devint blanche et matte, les laitiers noirs et poreux, la bouche de la tuyère se couvrit d'un nez, et des matières

durcies se firent sentir dans l'ouvrage. Cet état, qui dura cinq jours entiers, mit le fourneau en danger.

La fonte obtenue par les essais, fut affinée dans les forges de Creutzbourg. Elle se fondit, en conservant presque toute sa nature de fonte; des scories rouges et très-liquides se formèrent en grande quantité *; la flamme qui s'élevait du foyer était blanche, éclatante, et devenait quelquefois bleuâtre ou jaunâtre: après la fusion, on eut soin de laisser congeler les scories sur le bain. On vit alors de petits jets de flamme bleu jaunâtre, traverser la croûte de matières avec un léger bruissement. Le changement de la fonte en fer ductile fut extrêmement rapide; on ne put soulever la masse qu'une seule fois. Les *scories douces* se trouvaient être peu abondantes; le fer contenu dans le creuset était sec; il fallait y jeter une grande quantité de battitures, ce qui est directement opposé à la manière dont la fonte obtenue au coke se comporte ordinairement dans les foyers d'affinerie. L'opération par attachement ** réussit parfaite-

* Ces scories, dont les propriétés seront développées plus tard, se forment toujours pendant la première période de l'affinage, lorsque le métal est encore à l'état de fer cru: il est bien essentiel de ne pas les confondre avec une autre espèce de scories qu'on obtient vers la fin de cette opération, lorsque la fonte commence à se convertir en fer ductile. Celles-ci sont employées avec avantage dans les feux d'affinerie; elles hâtent le changement qu'on veut opérer, et augmentent les produits. Celles-là sont extrêmement liquides, vitrifiées et imprégnées de la plus grande partie des matières étrangères contenues dans le fer cru; elles lui conservent sa crudité, lorsqu'on ne les fait pas écouler: nous les appellerons quelquefois, par analogie avec le mot *fer cru*, *scories crues*, et nous donnerons aux autres le nom de *scories douces*, parce qu'elles adoucissent le fer, qu'elles le font passer de l'état de fonte ou d'acier, à l'état de fer doux. Nos auteurs, sans établir une distinction bien marquée entre ces deux espèces de scories, ont quelquefois appelé les premières *laitiers* ou *scories pauvres;* mais il existe, ainsi qu'on le verra par la suite, des scories crues très-riches et qui le sont même assez pour être traitées comme minérais de fer. Le T.

** C'est une manière particulière d'achever l'affinage à l'allemande. Le T.

ment; la loupe était molle : on aurait pu la couper avec le marteau, si le fer n'avait été en même temps extrêmement tenace : du reste, il ne paraissait ni rouverin ni cassant à froid.

On trouva dans la fonte une très-petite dose de zinc; mais le fer ductile n'en présenta pas une trace. Il est vrai que l'on ne connaît pas encore de moyen certain pour déterminer de très-petites quantités de zinc alliées au fer.

274. Ce qui précède doit suffire pour dissiper toute espèce de crainte sur la présence du zinc dans les minérais; cependant, pour ne laisser aucun doute, je fis exécuter aussi des essais d'affinage, en ajoutant au fer cru une certaine quantité de zinc, soit à l'état métallique, soit à l'état d'oxide : le fer obtenu était d'excellente qualité; mais l'analyse n'a pu y découvrir une trace de zinc.

Rinman pense aussi que le zinc ne doit inspirer aucune crainte. Hassenfratz, dans ses essais, a obtenu des résultats un peu différens : le fer s'est laissé bien forger, mais il était un peu rouverin et cassant à froid *. Quoi qu'il en soit, je ne puis, d'après mes propres expériences, attribuer au zinc une action nuisible sur le fer. Le dérangement du fourneau (273) n'est, à mes yeux, qu'un effet de la grande évaporation et du refroidissement qu'elle a dû produire.

275. Le zinc n'a pas été employé jusqu'à présent pour l'étamage du fer; soit parce que l'étain est moins attaqué par l'action de l'air humide et des acides; soit parce qu'on ne connaît point de moyen praticable de couvrir le bain et d'empêcher l'oxidation de la feuille, en la retirant de la chaudière : ce métal exige une forte chaleur rouge pour devenir parfaitement liquide, et les matières grasses employées

* On ne doit pas être surpris que Hassenfratz soit parvenu à des résultats opposés à ceux de M. Karsten. Voyez pour cette citation et celles qui suivent la note que nous avons ajoutée au paragraphe 268. Le T.

dans l'étamage ordinaire, se volatilisent à ce degré de température.

276. Brand, Henkel et Gellert, prétendent avoir obtenu une combinaison de 2 à 3 parties *de bismuth* avec une de fer; mais Beaumé en conteste la possibilité : Rinman ne parvint pas à produire ce composé; le bismuth et le fer qu'il fondait ensemble paraissaient d'abord entièrement mélangés et se séparaient ensuite.

Quoique j'ignore s'il existe des forges où l'on traite des minérais renfermant du bismuth, il m'a paru intéressant de connaître son action sur le fer. J'ai donc fait des essais d'affinage avec addition d'un pour cent de bismuth. Dès que la fonte entra en fusion, il s'éleva une flamme et une fumée colorées en bleu verdâtre, qui continuèrent pendant une demi-heure. Il fallait soulever la masse plus souvent que de coutume; mais la loupe devint à la fin très-bonne et les barres soutinrent les épreuves. Le bismuth n'a donc produit d'autre effet défavorable que de retarder l'opération de l'affinage. On trouva dans le fer 0,081 p. % de ce métal, ou 81 parties sur 100000.

D'après les expériences d'Hassenfratz, le fer allié au bismuth se laisserait forger assez bien; cependant, il serait un peu rouverin et très-cassant à froid après la trempe.

277. Le fer paraît s'unir à *l'antimoine,* dans toutes les proportions; il en devient plus dur, plus aigre, plus fusible, et se rapproche de la fonte. L'antimoine, à son tour, devient, en s'alliant au fer, plus dur et plus réfractaire. J'ai fait effectuer des essais dans les forges de Creutzbourg (Haute-Silésie); j'ai ajouté à la fonte, après qu'elle fut liquéfiée, un pour cent d'antimoine. Malgré sa volatilité, il a eu sur le fer une influence plus funeste encore que l'étain. La loupe dégageait aussi des vapeurs blanches; le fer devenait très-cassant à chaud et à froid. Ces résultats sont conformes à ceux d'Hassenfratz. En analysant ce fer, on y a trouvé 0,23 p. % d'antimoine.

J'ai reçu d'une usine, il y a quelque temps, plusieurs échantillons d'un fer très-cassant à froid. On attribua sa mauvaise qualité à l'arsenic; mais l'analyse n'y découvrit, outre une trace de soufre et 0,38 p. % de phosphore, que 0,114 d'antimoine. Ce n'est qu'à cette petite quantité d'antimoine qu'on pouvait attribuer la fragilité de ce fer. Il est heureux que les minérais antimonifères soient très-rares, parce qu'on ne connaît encore aucun moyen de remédier à leurs défauts.

278. *L'arsenic*, qui paraît aussi s'unir au fer dans diverses proportions, en augmente la dureté, l'aigreur et la fusibilité. Il est faux de dire qu'une petite dose suffise pour neutraliser les propriétés magnétiques du fer; cet effet ne peut avoir lieu que pour les alliages où il entre au moins parties égales de ces deux métaux. Très-peu d'arsenic, selon les expériences de Bergman, ne peut rendre le fer ni rouverin ni cassant à froid. Le grillage ne suffit pas pour le chasser entièrement; on s'en débarrasse en fondant l'alliage à plusieurs reprises avec de la poussière de charbon.

Rinman soutient que la plus faible quantité d'arsenic rend le fer cassant à froid, mais cette opinion est pour le moins exagérée. D'après les essais d'Hassenfratz, l'alliage se forgeait bien, mais il ne se laissait pas souder; il répandait une odeur d'ail pendant le martelage, et paraissait en général plutôt rouverin que cassant à froid. Selon mes expériences, un peu d'arsenic ajouté à la loupe, retarde l'affinage de la masse à tel point qu'il faut deux ou trois fois plus de temps pour l'effectuer : il se produit une grande quantité de scories corrosives et avides de fer, qui occasionnent un déchet considérable, et qui pourraient même, si les essais étaient continués avec des doses d'arsenic plus fortes, faire entrer toute la masse en vitrification. Le fer s'était aigri, et soutenait les épreuves moins bien qu'à l'ordinaire; mais il se forgeait sans criques et sans pailles. On

l'a dissous par l'eau régale, à la chaleur de l'ébullition. Le précipité obtenu au moyen du gaz hydrogène sulfuré, ne contenait pas une trace d'arsenic. Si le fer s'est donc chargé d'une légère dose de ce métal, elle était si petite que l'analyse ne pouvait la découvrir. Remarquons encore que la dissolution n'avance qu'avec une lenteur extraordinaire, ce qui indiquerait pourtant un changement dans les propriétés du fer. M. Lampadius fait observer qu'aux forges de Breitenhof en Saxe, on voulut fondre un oxide rouge très-riche; mais qu'il a donné du fer si rouverin qu'il était intraitable, et qu'on trouva dans la fonte 3,5 p. % d'arsenic. D'après M. Garney, les minérais d'Utœ ne produisaient un fer si cassant à froid, que parce qu'ils sont souillés de cobalt et d'arsenic.

279. La combinaison du fer avec l'arsenic que j'ai essayé de faire, aurait peut-être donné des résultats plus défavorables, si elle avait eu lieu dans le haut fourneau. Je manque d'expérience à ce sujet. Mais j'ai fait fondre 95 parties d'acier de cémentation avec 5 parties d'un alliage d'arsenic et de fer, contenant 32 parties du premier et 68 du second. L'arsenic accéléra la fusion de l'acier. Le régule obtenu se composait justement de 100 parties. Il est possible qu'une très-petite quantité de carbone absorbée ait compensé la dose d'arsenic qui s'est volatilisée; cependant on peut admettre que l'alliage contenait 1,6 p. % d'arsenic. Il était parfaitement homogène, très-mou, peu sensible à la trempe, semblable au fer mal affiné, d'une couleur grise plombée et presque dépourvu de ténacité.

Soixante-quinze parties de fer forgé et 25 parties du même alliage d'arsenic, ont été fondues très-rapidement dans un creuset de graphite, et donnèrent un alliage mou, fusible, d'une couleur gris foncé, ne possédant plus de malléabilité, et contenant 8 p. % d'arsenic. Il n'est donc pas invraisemblable que l'arsenic, même en petite quantité,

influe d'une manière très-désavantageuse sur la qualité du fer.

280. Le *nickel*, d'après Bergman, s'unit au fer dans toutes les proportions et donne un alliage doux et tenace. Les autres propriétés du nickel ajoutent beaucoup de poids à cette opinion; il ne peut inspirer aucune crainte aux maîtres de forges. La rareté de ce métal, lorsqu'il est pur, m'empêcha de l'employer dans les essais d'affinage.

Hassenfratz annonce que le fer traité avec du *kupfernikel* n'est pas doué de soudabilité, que très-difficile à forger, il est même un peu cassant à froid; mais on ne peut tirer aucune conséquence de cet essai; l'auteur ne s'est point servi du nickel pur, et le kupfernikel contenait probablement de l'arsenic et du soufre.

281. MM. Stodart et Faraday ont allié le fer et l'acier avec le nickel pur. Le fer ductile se liquéfia parfaitement avec 10 p. % de nickel; mais il perdit de sa soudabilité. Sa surface, qui présentait une nuance jaunâtre, était moins disposée à se couvrir de rouille. La même quantité de nickel alliée avec l'acier, augmenta au contraire sa disposition à se rouiller et donna un composé susceptible d'être damassé. On observa pour les proportions de nickel employé, celles qui se trouvent dans le fer météorique. Le métal obtenu fut jugé d'une excellente qualité.

Il parait que ces différens alliages ne constituent pas de véritables combinaisons chimiques. C'est pour cette raison que leurs propriétés ne ressemblent point à celles des alliages obtenus par d'autres procédés. Il serait possible qu'un métal allié au fer détériorât ce dernier complétement; tandis qu'à l'état de mélange, il accrût la ténacité de l'acier. L'aluminium, l'argent, peut-être aussi le cuivre, se conduisent sous ce rapport comme le nickel; ils améliorent l'acier et ils nuisent à la qualité du fer ductile.

282. Le *cobalt*, selon les expériences de Brand et de

Bergman, s'allie au fer dans toutes les proportions, particulièrement lorsque le premier de ces métaux est la partie dominante : l'alliage, dit-on, possède la ductilité du fer. Il en résulterait au moins, qu'en petite dose, le cobalt ne serait pas nuisible. N'ayant pu me procurer une quantité suffisante de ce métal, dans toute sa pureté, il m'a été impossible d'en essayer les effets aux foyers d'affinerie.

Hassenfratz confirme en quelque façon les résultats des anciens métallurgistes; dans ses expériences, le fer traité avec le cobalt, se laissait forger et souder, quoiqu'il fût un peu brisant à chaud; mais il n'était point cassant à froid. Garney pense au contraire que le cobalt rend le fer cassant à froid.

283. Nous n'avons aucune donnée sur les alliages du fer avec l'*urane*, le *molybdène*, le *tellure*, le *tantale*, le *cerium* et le *cadmium*.

284. Le *titane* se trouve fréquemment dans le nord, et sur-tout dans la Norwège; il rend les minérais de fer tellement réfractaires, qu'au fourneau d'Arendahl, qui va au charbon de bois, et dont la hauteur est de 35 pieds, on ne peut quelquefois les mettre en fusion; on rejète ceux qui le contiennent en quantité sensible. Loin de nuire à la qualité des produits, il augmente à la fois leur ténacité et leur dureté. Hassenfratz a remplacé le titane par le schœrl rouge, qui, d'après Klaproth, en est un oxide; il a trouvé que le fer traité par cette substance, se laissait très-bien forger sans être ni rouverin ni cassant à froid.

285. Le titane exige, pour se réduire et pour entrer en fusion, une température plus élevée que celle qui est nécessaire au fer. C'est pour cette raison que l'oxide de titane reste presqu'entièrement dans les laitiers, d'autant plus que l'affinité entre ces deux métaux paraît très-faible. On trouve fréquemment dans les hauts fourneaux le titane cristallisé en cubes d'une belle couleur rouge cuivrée. Quelquefois on

en voit aussi de petits globules dans la fonte grise, preuve de son peu d'affinité pour le fer. Par l'affinage, il est séparé de ce dernier en grande partie; cependant on en trouve des traces dans beaucoup de fers ductiles. Bien que le titane seul soit insoluble dans les acides, il se dissout quand il est combiné avec le fer. Il faut par conséquent le chercher dans la liqueur.

Un composé de 99 parties d'acier et de 1 partie de titane métallique, se comporta comme le meilleur acier; mais le titane réparti inégalement dans la masse, ne s'y trouva qu'à l'état de mélange. Cet alliage est susceptible en outre de prendre un beau damassé.

286. Pour ce qui est du *tungstène*, il a donné à Hassenfratz un alliage qui se forgeait assez bien, quoiqu'il fût légèrement rouverin : il était ductile, *découvrait* par la trempe et prenait par le forgeage un nerf mélangé de grain. On doit en conclure que, semblable sous ce rapport au titane, le tungstène ne fait qu'augmenter la dureté du fer.

287. On ne connaît pas encore l'influence que de petites quantités de *chrome* exercent sur le fer. Hassenfratz a trouvé qu'un fer qui n'en contenait qu'une légère dose, se laissait assez bien forger, bien qu'il fût un peu rouverin; mais il ne paraissait pas cassant à froid. Les minérais chromifères sont très-rares; cependant on trouve le chrome dans la fonte aussi souvent que le titane; mais l'affinage paraît le séparer du fer.

D'après les analyses de M. Vauqelin, faites sur des fers rouverins qui contenaient 0,6 p. % de phosphore et 0,4 p. % de chrome, on pourrait croire que ce fer devait sa mauvaise qualité à ce dernier.

Les alliages de l'acier avec le chrome ont été examinés plus particulièrement par M. Berthier, et par MM. Stodart et Faraday. Le premier de ces chimistes a préparé deux aciers chromifères, dont l'un contenait 1 p. % et l'autre

$\frac{1}{2}$ p. % de chrome. On employa pour cet effet le meilleur acier fondu qui, réduit en petits morceaux, fut liquéfié avec un alliage de fer et de chrome obtenu du fer chromé naturel. Non-seulement cet acier était d'une qualité très-bonne; mais il se distinguait aussi par un beau damassé que produisait le simple recuit. Les expériences de MM. Stodart et Faraday ont confirmé ces résultats. Ils préparèrent deux alliages de ce genre, l'un composé de 1600 parties d'acier et de 16 de chrome; l'autre de 48 parties de chrome sur 1600 d'acier. Le dernier composé était plus dur que le premier et se laissa très-bien forger.

288. Les alliages de l'acier avec le *palladium*, et le *rhodium*, ainsi que le composé triple d'acier, *d'iridium*, et *d'osnium*, paraissent être de bonne qualité et susceptibles de recevoir de beaux damassés. C'est l'alliage de rhodium sur tout, qui offre une très-grande ténacité unie à une dureté telle que les objets tranchans confectionnés avec cet acier, pouvaient supporter un recuit de 30 degrés de Fahrenheit au-dessus de celui qu'on donnait au wootz, bien que ce dernier exige quarante degrés de plus que le meilleur acier anglais.

Le rhodium, l'iridium et l'osmium s'allient à l'acier en toutes proportions. Un composé de fer ductile et de 3 p. % de ces deux derniers métaux, résiste à la rouille et devient susceptible de se durcir par la trempe, sans contenir de charbon, propriété que le silicium donne aussi au fer ductile.

289. Le *manganèse* est de tous les métaux celui que l'on rencontre le plus souvent avec le fer. Il le rend plus dur, sans en affaiblir la ténacité, lorsqu'il est en faibles proportions. Un fer ductile, d'une très-bonne qualité, m'a donné 1,85 p. % de manganèse. On ne pourrait affirmer à quelle dose il commence à exercer une action nuisible sur la résistance du fer. Il est très-difficile de faire des expériences sur cet objet, à cause de la haute température qu'il faut employer pour fondre ces deux métaux.

M. Mushet a cherché à combiner le manganèse avec le fer en proportions croissantes ; il croit devoir conclure de ses résultats que le maximum de manganèse, dont 100 parties de fonte peuvent se charger, est de 40. Ce composé, renfermant 71,4 parties de fonte et 28,6 de manganèse, cesse d'être attirable à l'aimant. Quant à la fragilité de l'alliage, elle dépend du carbone et de la manière dont il est combiné avec le fer.

Rinmann cite, à plusieurs reprises, une fonte blanche obtenue en Suède de minérais manganésifères, et possédant une propriété très-remarquable, c'est de devenir attirable à l'aimant, ayant été grillée, tandis qu'elle ne l'était pas auparavant.

290. Le fer peut contenir beaucoup de manganèse autant que l'acier même ; et il peut exister de l'acier qui n'en contienne pas une trace : c'est le carbone seul qui constitue la différence de l'un à l'autre.

Il était nécessaire de rappeler ces principes opposés à l'opinion de certains métallurgistes, qui pensent que l'acier doit toujours contenir du manganèse en plus forte dose que le fer extrait des mêmes minérais. On a été même jusqu'à prétendre que le résultat de l'affinage serait ou du fer ou de l'acier, selon la plus ou moins grande quantité de manganèse brûlée dans cette opération. Toutefois les aciers devant être très-durs, il s'ensuit qu'un contenu de manganèse doit améliorer leur qualité. D'un autre côté, il est maintenant reconnu que les aciers fondus les plus durs, contiennent à peine une trace de manganèse.

291. L'expérience a montré que les minérais manganésifères sont particulièrement disposés à donner de l'acier, et voilà ce qui leur a valu le nom de *mines d'acier*. Cependant ce n'est point un effet immédiat du manganèse, mais c'est l'effet du mode de combinaison du carbone avec ce métal, mode déterminé par la présence d'une forte dose

de manganèse. Il s'ensuit que la fonte blanche qui ne contient point de manganèse, doit se convertir en acier avec autant de facilité que la fonte blanche obtenue de minérais manganésifères, puisqu'elle nous offre le fer combiné de la même manière avec le carbone. L'expérience le confirme aussi; mais cette espèce de fer cru est en général plus chargée de substances étrangères que ne le sont les fontes des minérais contenant du manganèse. La raison de ce fait sera exposée plus tard.

Une bonne fonte grise blanchie peut être travaillée pour acier avec autant de facilité que la fonte blanche naturelle, si la destruction du graphite a été complète.

292. Les minérais contenant beaucoup de manganèse sont tellement disposés à donner de la fonte blanche, qu'on a cru, quoique à tort, qu'ils ne pouvaient produire de la fonte grise (46), et que la présence du manganèse s'opposait à la formation du graphite. Plus tard on a vu que la couleur de la fonte dépendait de la température du foyer, et que le manganèse ne favorisait la production de la fonte blanche que d'une manière indirecte, parce qu'il formait avec la silice un silicate très-fusible. De plus on s'est assuré que la fonte grise obtenue des minérais manganésifères, contenait en général plus de manganèse que la fonte blanche. La disposition de ces minérais à produire cette espèce de fer cru, ne provient donc que de la fusibilité des laitiers. On en obtient aussi de la fonte grise, lorsqu'on leur ajoute des bases formant des silicates réfractaires, et qu'on élève la température du foyer.

DE L'ACTION DU FER SUR LES OXIDES MÉTALLIQUES.

293. Dans les hautes températures, le fer enlève l'oxigène à tous les oxides des métaux non précieux, le manganèse, le zinc et le cobalt exceptés. Une partie se change

en protoxide qui se vitrifie; le reste s'allie au métal réduit, si toutefois il existe entre eux assez d'affinité. On ferait usage de cette propriété du fer dans la réduction des oxides métalliques, sur-tout à cause de son bas prix, si le protoxide de fer en se vitrifiant n'entraînait pas une certaine quantité de minérais, et que, pendant l'opération, il fût possible d'empêcher le contact de l'air atmosphérique, qui agirait sur le métal réduit, et l'oxiderait une seconde fois.

DE L'ACTION DU FER SUR LES SELS.

294. Notre but n'est point de nous occuper ici des propriétés du fer mis en contact par la voie humide, avec les sels métalliques. Il précipite la plupart des oxides; et si quelquefois il est précipité à son tour par leurs radicaux, on peut expliquer ces anomalies par le partage de son oxigène.

Il est probable que les acides gazeux agissent sur le fer, dans les températures élevées, comme les sels qu'ils formeraient avec les alcalis et les terres. En général, la nature du résultat dépend des proportions du fer employé, de la nature de l'acide et de l'affinité des deux métaux: on peut obtenir ou un oxide de fer joint à un autre oxide, ou un sel de fer et l'autre oxide, ou un sel de fer et un oxide de fer, accompagnés de l'autre métal réduit, ou simplement un oxide de fer et le métal réduit, combiné ou non avec une partie du fer. Si, par exemple, l'acide est volatil, le fer sera seulement oxidé; s'il est fixe, il se combinera avec cet oxide, en abandonnant l'autre métal; si le fer est en excès, il réduira l'oxide du sel employé, etc., etc.

295. On peut admettre en thèse générale, que les sels alcalins neutres, traités par la voie humide, n'agissent point sur le fer, qui n'est oxidé qu'aux dépens de l'eau; cependant il paraît décomposer en partie, les sels d'amo-

niaque; il se forme alors des sels triples et de l'hydrate de fer. Son action, sur les sels de soude, n'a lieu qu'en vertu d'une affinité élective double; le protoxide agit sur l'acide du sel, et la soude sur l'acide carbonique de l'air. Cette décomposition ne peut donc s'effectuer qu'en partie, et seulement dans le cas où la soude peut entrer en efflorescence.

Toutefois l'expérience a prouvé, que le fer plongé un grand nombre d'années dans un liquide contenant des sels à bases alcalines ou terreuses, finit par se dissoudre, lors même qu'il est à l'état de fonte. Du fer cru qu'on a retiré du fond de la mer, où il avait séjourné des siècles, était tout-à-fait rongé: cependant les sels ne dissolvaient que le métal, tandis que le carbone restait intact et combiné avec une partie du fer. Les métaux éprouvent dans ce cas les changemens que produiraient sur eux l'action prolongée d'un acide étendu d'eau. Ces effets sont attribués ordinairement à l'acide carbonique; mais on peut admettre avec plus de vraisemblance, que les hydrochlorates et les sulfates contenus dans l'eau de la mer, se trouvent à la longue décomposés par le fer.

Le carbure de fer qui a résisté à l'influence de l'eau salée, possède la propriété remarquable de s'échauffer au contact de l'air au point de rougir, ce qui du reste a lieu aussi avec le résidu que donne la fonte soumise à l'action des acides faibles*.

Le fer cru plongé dans l'eau douce se convertit aussi avec le temps en une epèce de masse graphiteuse. Ce changement dû alors à l'acide carbonique que l'eau absorbe de l'air, est très-lent, et la rouille mêlée au résidu en modifie les propriétés.

* Le fer obtenu par la réduction de l'oxide au moyen de l'hydrogène, à une température au-dessous de la chaleur lumineuse, présente le même phénomène. Après avoir été refroidi dans ce gaz, il s'enflamme spontanément étant mis en contact avec l'air atmosphérique. Voyez la Chimie de Berzélius. Le T.

296. Il résulterait des expériences de Clouët (171), que le fer mis en fusion avec des *carbonates alcalins*, dont la base entrerait en vitrification, pourrait se changer en acier. On prétendait qu'une grande quantité d'oxide se vitrifiait avec la base saline; que l'oxigène de l'acide se portait sur une partie du fer, et le carbone sur l'autre qui se convertissait en acier *.

Ces expériences ont été refaites par MM. Mushet et Boussingault, qui après avoir examiné le produit, ont montré que le fer ne contenait point de carbone, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, et que la dureté qu'il avait acquise et qui augmentait par la trempe, ne pouvait être attribuée qu'au silicium qu'il avait enlevé à la matière du creuset.

297. Du fer cru fondu avec des carbonates fixes, donne un fer aciéreux parfaitement malléable. La fonte blanche lamelleuse traitée de cette manière, se change facilement en acier. Le métal ne se charge ni de calcium ni d'autres métaux alcaligènes; preuve que la diminution du carbone est due à sa combinaison avec l'acide carbonique, et par conséquent à sa conversion en gaz oxide de carbone.

Lorsqu'on fond le fer cru phosphoreux avec le carbonate de chaux, et qu'on dissout la chaux dans l'acide acétique, on n'y trouve point d'acide phosphorique; mais si la chaux était remplacée par la potasse ou la soude, le phosphore se changerait en acide phosphorique avant la chaleur de la fusion. Les alcalis qui proviennent de cette opération, dissous dans l'eau, sursaturés d'acide acétique, et traités ensuite par l'acétate de plomb, laissent précipiter sur-le-champ du phosphate de plomb. On peut employer ce moyen très-simple, pour s'assurer de la quantité de phosphore contenue dans le fer cru.

* Les décompositions réciproques ne sont point impossibles; le fer décompose l'eau, et l'oxide de fer est réduit par l'hydrogène, presqu'à la même température. Le T.

298. Le fer ne paraît pas décomposer les *sulfates* neutres par la voie humide. Il existe à la vérité une action réciproque, mais on ne peut expliquer au juste le phénomène de cette lente destruction de fer (296). Par la voie sèche, le fer décompose l'acide sulfurique. D'après Fourcroy, il en résulte non-seulement de l'acide sulfureux, mais aussi du soufre, et par suite un sulfure à base alcaline ou terreuse; ce sulfure dissout le reste du fer métallique, et finit par entrer avec le fer oxidé en vitrification. Le soufre ne pourrait exister à côté de l'oxide et à une haute température, s'il n'était combiné avec la base alcaline.

Il est encore douteux que dans cette opération il se produise de l'acide sulfureux. Si l'on emploie du fer en excès, il se forme un sulfure terreux ou alcalin qui se combine avec une partie du sulfure de fer. Ce sulfure double ne peut se dissoudre dans les acides sans laisser déposer du soufre, ce qui prouve qu'une grande partie du fer s'oxide et se vitrifie avec les alcalis. Le fer cru agit avec plus d'énergie que le fer ductile.

299. Le fer produit avec les *nitrates* neutres, une explosion d'autant plus vive qu'il contient plus de carbone. La base devient caustique et le métal s'oxide: si le fer est carburé, il se dégage de l'acide carbonique. On a fait usage de ce fait pour déterminer la quantité de carbone contenue dans le métal. Pour cet effet, la fonte pulvérisée et passée au tamis fut mêlée avec le décuple de son poids de salpêtre, et chauffée ensuite jusqu'au rouge dans une cornue. Au commencement de l'opération il se forme toujours du nitrite de potasse, en même temps que du gaz acide carbonique, qu'on fait passer par l'eau de chaux, afin de calculer, au moyen du précipité, le poids de l'acide carbonique et par suite celui du carbone. Mais à mesure que l'opération s'avance, la potasse devient caustique et absorbe l'acide carbonique. On est donc obligé de laver dans l'eau le résidu

de l'opération, de passer la liqueur au filtre et de la traiter par l'hydrochlorate de chaux, pour déterminer ensuite par le poids du précipité, celui de l'acide carbonique: 100 parties de carbonate de chaux correspondent à 11,9 de carbone.

Ce procédé est défectueux, 1° parce qu'on ignore toujours si la décomposition a été complète, et 2° parce qu'une certaine partie d'acide carbonique s'échappe au moment de la détonation, sans que l'eau de chaux puisse l'absorber, lors même que le gaz traverserait une série de flacons.

300. Les *chlorures alcalins*, traités avec le fer par la voie humide, paraissent se comporter comme les sulfates alcalins, et par la voie sèche ils ne semblent exercer aucune action sur le métal.

J'ai fait aussi des essais d'affinage, en ajoutant à la loupe du sel marin; le fer n'a rien perdu de sa qualité: l'acide se dégageait en vapeurs épaisses, son odeur était celle de l'acide hydrochlorique ordinaire, la flamme paraissait lourde et s'élevait avec peine.

Parmi les chlorures métalliques, le *chlorure d'argent* doit nous offrir le plus d'intérêt, parce qu'il présente un moyen de déterminer le contenu du carbone, et de faire juger de l'état dans lequel ce corps se trouve combiné avec le fer. Il faut l'employer à l'état fondu. Il doit avoir une couleur jaune pâle. L'opération se fait en vases clos avec addition de beaucoup d'eau et de quelques gouttes d'acide hydrochlorique. Mais le résidu charbonneux est pourtant un peu décomposé. On en peut juger par les gaz qui se dégagent, tout aussi bien que par l'aspect du charbon qu'on obtient.

301. Le fer ductile et l'acier non trempé, ainsi que la fonte blanche, devenue grise, par le grillage, donnent, étant décomposés par le muriate d'argent, un charbon brun noirâtre non magnétique, et une substance graphiteuse parfaitement semblable à celle qu'on retire de ces fers, à l'aide

des acides. Une partie de cette substance graphiteuse se convertit aussi en charbon brun noirâtre, par l'action du muriate. De sorte que ce réactif ne nous présente pas non plus un moyen d'obtenir le polycarbure, avant qu'il n'ait subi une première décomposition. Mais on l'obtient, de cette manière, plus pur et en plus grande quantité qu'il ne serait offert par la dissolution du métal dans les acides. Malheureusement, on n'a aucun indice auquel on puisse reconnaître la marche de l'opération.

La fonte grise laisse pour résidu, outre le polycarbure, du graphite ou du carbone qui n'était pas combiné avec le fer: tandis que l'acier trempé et la fonte blanche ne donnent que du charbon brun noirâtre; mais l'opération est extrêmement lente avec ces deux derniers, parce qu'il se forme une couche de carbone qui enveloppe le métal et s'oppose aux progrès de l'oxidation. C'est pour cette raison qu'on fait bien de changer la fonte blanche en fonte grise, au moyen d'une seconde fusion et d'un lent refroidissement, lorsqu'on veut la traiter par le muriate d'argent: si l'on emploie ce procédé pour l'acier trempé, le carbone combiné ne passe qu'à l'état de polycarbure. Il ne serait guère possible d'opérer sur plus d'un gramme, qui demande 80 à 100 grammes de muriate d'argent pour se décomposer: l'opération dure une quinzaine de jours.

Le résidu, qu'on ne peut séparer de l'argent que par un moyen mécanique, doit être séché long-temps à une température de près de cent degrés. Il contient presque toujours du fer et de la silice. Après que son poids a été déterminé, on le brûle dans un creuset de platine, jusqu'à ce que les cendres obtenues ne changent plus de couleur, et cessent d'être attirables à l'aimant. La différence entre le poids du résidu desséché et celui des cendres, donne la quantité de carbone. On enlève ensuite, au moyen de l'acide hydrochlorique, l'oxide de fer qu'on dose par le poids de la silice qui ne se dissout pas dans la liqueur.

En opérant sur la fonte grise, on doit indiquer séparément la dose de graphite, et la dose de carbone combiné. Pour déterminer la première, on dissoudra une seconde quantité de fer cru dans l'acide nitrique mêlé d'un peu d'acide hydrochlorique : le résidu ou graphite est débarrassé de la silice et du carbone combiné par la potasse caustique. On le pèse, après qu'il a été lavé et séché. Le poids du graphite obtenu, soustrait de la quantité de carbone fourni par la décomposition de la fonte, au moyen du muriate d'argent, donne la dose de carbone combiné.

En employant l'acide hydroclorique, on pourrait se débarrasser tout de suite du cabone combiné; mais ce moyen serait inexact; parce que le gaz hydrogène enlève toujours une certaine quantité de graphite.

La composition du polycarbure ne peut encore se déterminer avec exactitude.

L'acier non trempé ne paraît contenir le carbone qu'à l'état de polycarbure. Il en est de même de la fonte blanche rendue douce par un grillage prolongé. Mais il existe des fontes grises et surtout des fontes mêlées qui, outre le graphite et le polycarbure, contiennent aussi du carbone combiné avec toute la masse, tandis que la fonte blanche et l'acier trempé ne renferment ni graphite ni polycarbure.

302. Les acides végétaux agissent sur le fer, dans les températures élevées, comme le charbon ordinaire, ayant tous la propriété de se carboniser.

303. Il paraît que, par la voie sèche, le fer pur décompose les *phosphates* moins facilement que les sulfates. Si le fer contenait du carbone, une partie de l'acide phosphorique se réduirait et donnerait du phosphore. Voilà du moins ce qui résulterait de la loi des affinités.

304. Le fer décompose les *arseniates* à la chaleur rouge; il enlève à l'acide une partie de son oxigène et entre avec la base en vitrification, tandis que l'arsenic blanc se vo-

latilisé. Une petite dose d'arsénic reste dans le régule de fer qui est en excès, une autre se trouve à l'état d'oxide dans les scories.

DU FER OXIDÉ EN CONTACT AVEC D'AUTRES SUBSTANCES.

305. Nous avons déjà parlé de la manière dont le *carbone* se comporte à l'égard des oxides de fer : il les réduit ; c'est, sous ce rapport, le réactif le plus puissant, c'est aussi le seul qui soit employé dans l'extraction de ce métal. Si on l'ajoute à l'oxide, en proportion convenable, on peut obtenir du fer pur ; en dose moins forte, il donne pour résultat, du fer pur et une partie de l'oxide qui n'a pas subi la réduction. Ces principes ont été confirmés par les expériences de Clouët. Ce métallurgiste a obtenu du fer ductile par une simple fusion de l'oxide de fer avec l'acier. En liquéfiant la fonte avec une addition convenable d'oxide on obtient effectivement le fer le plus doux ; mais comme dans toutes les opérations métallurgiques le réactif est toujours employé avec excès, le produit doit être plus ou moins chargé de carbone.

306. La réduction des oxides de fer par le carbone, commence déjà à une faible chaleur rouge. Le peroxide se change d'abord en un oxide inférieur, qui est semblable soit au fer magnétique, soit aux battitures, et qui se réduit entièrement sans passer à l'état de protoxide. La désoxidation se prolonge de la surface vers le centre, elle peut s'achever bien avant que le fragment n'ait changé de forme. Ainsi l'effet du carbone s'étend d'une manière inconcevable à travers toute la masse de l'oxide ; le métal réduit devient lui-même l'agent qui achève l'opération, comme il en arrive dans la réduction d'un sel métallique par la voie humide. Dans l'un des cas c'est l'eau, dans l'autre c'est le calorique qui établit la liaison entre le réactif et la substance soumise

au traitement; avant que le noyau du minérai ait éprouvé un premier changement, la surface extérieure se compose de *l'oxidum ferroso-ferricum*. Ce n'est qu'après que le centre a déjà subi une première altération, que l'envelope se change en fer pur ne contenant ni oxigène ni carbone; mais quand le noyau est entièrement désoxidé, les couches extérieures sont déjà carburées: le morceau peut conserver en cet état sa forme primitive. Plus tard et par une température plus élevée, la matière entre en fusion et forme un régule, qui peut posséder les propriétés de l'acier fondu ou celles du fer cru.

307. Les oxides de fer se réduisent aussi par l'action du *soufre;* mais ce dernier se combine avec le métal, à moins que l'oxide ne soit en excès considérable et que la température ne soit très-élevée. Dans ce cas, on peut obtenir du fer libre; une partie de l'oxide restera indécomposée. Les oxides traités à plusieurs reprises avec le soufre dans des vaisseaux distillatoires, donnent des sulfures analogues à la pyrite magnétique, si on élève la chaleur jusqu'au rouge: en poussant le feu avec trop de violence au commencement, on volatilise le soufre, et l'oxide entre en vitrification. Selon le degré de température employé, on obtient quelquefois aussi du sulfure scorifié avec l'oxide, en différentes proportions. Il paraît, qu'aux premiers degrés de la chaleur rouge, le sulfure et le protoxide n'exercent entre eux aucune action décomposante, et qu'ils se vitrifient ensemble. Ce n'est qu'à une température plus élevée, lorsque les deux corps sont liquéfiés, qu'ils se décomposent mutuellement.

Du peroxide de fer en poussière, chauffé doucement avec le soufre, de manière que le sulfure ne puisse se former, et soumis à ce degré de chaleur jusqu'à ce qu'on ne voie plus aucun dégagement d'acide sulfureux, donne, d'après M. Berzélius, une poudre brune, inflammable,

sensible à l'aiguille aimantée, soluble dans les acides, après une longue digestion, et déposant tout le soufre, sans donner lieu à un développement d'acide hydrosulfurique.

Le peroxide, mis dans un tube de porcelaine, décompose le sulfure de carbone qu'on fait passer dans le tube: il se produit alors du sulfure de fer et un dégagement de gaz acide carbonique et d'acide sulfureux.

308. Le *phosphore* se comporte différemment avec l'oxide de fer. L'acide phosphorique qui se forme par la réduction, se combine, à cause de sa fixité, avec une partie de l'oxide, pendant que le phospore, obéissant à son affinité pour le métal, le change en phosphure: tel est toujours le résultat, lorsqu'il y a excès ou quantité suffisante de ce corps inflammable; dans le cas contraire, une certaine portion d'oxide ne subit point de changement, et les autres produits restent les mêmes.

On pouvait conclure à *priori* que, réduit par le phosphore, le fer formerait une nouvelle combinaison, et que l'acide phosphorique ne pouvant s'échapper, se combinerait avec le protoxide. Il ne s'ensuivrait cependant pas qu'il n'existe aucune action décomposante entre le phosphure et l'oxide de fer: il en résulte seulement que le contenu total de phosphore ne peut se changer en acide, et qu'une partie reste combinée avec le fer. Au reste, on n'a pas encore fait d'expériences directes sur ce dernier objet.

309. Les circonstances qui accompagnent la réduction du fer par le carbone et le soufre, diffèrent de celles que nous venons d'exposer, parce que le corps formé par le réactif et l'oxigène, est toujours à l'état de fluide élastique et qu'il se dégage. Si donc ce réactif est en faible proportion par rapport à toute la masse, il doit disparaître en entier; si au contraire il est en excès, il se combinera avec le métal.—Dans la réduction opérée par le carbone, il faut que le fer soit d'abord chargé de cette substance au point de

former de la fonte blanche, avant qu'il se produise de la fonte grise, qui évidemment doit toujours sa naissance à la première.

310. Les métaux ne se combinent point avec les oxides, c'est une règle générale; mais ces derniers, en se vitrifiant, forment des combinaisons entre eux et avec des sulfures. La substance vitrifiée la plus transparante, c'est le verre ordinaire, composé d'oxide de silicium et d'oxide de potassium ou de sodium.

Les verres sont colorés de différentes manières par le fer; ordinairement c'est en vert sale: leur couleur devient de plus en plus foncée, à mesure que la quantité de protoxide de fer augmente, jusqu'à ce qu'elle passe au noir; leur fusibilité gagne dans la même proportion. Le peroxide de fer ne colore le verre qu'en jaune. Si, par conséquent, on veut rendre sa couleur plus claire, on y ajoute de l'oxide noir de manganèse qui cède une partie de son oxigène au protoxide, le change en peroxide et passe lui-même à l'état de protoxide. Le fer oxidé s'emploie pour colorer l'émail en rouge, en jaune ou en vert, mais alors on le combine avec d'autres oxides métalliques.

311. Il paraissait résulter des expériences d'Achard, de Kirwan et de Lampadius, sur la vitrification des terres et du fer oxidé, que le degré de température devrait être d'autant plus élevé que les terres seraient en plus forte proportion; qu'elles étaient les seuls oxides qui ne pouvaient être fondus isolément; que deux à deux même elles entraient difficilement en fusion; enfin qu'elles devaient être assorties au moins trois à trois, et soumises à l'action d'une forte chaleur pour produire un verre parfait.

312. C'est principalement à M. Berzélius qu'on doit la théorie actuelle de la fusion des terres et des oxides métalliques. Les scories qui en résultent se forment d'une manière analogue aux combinaisons effectuées par la voie

humide entre des substances oxidées. L'action est d'autant plus prompte qu'il y a plus de différence dans les propriétés électriques des oxides, attendu que l'un joue le rôle de l'acide et les autres celui de la base. Le premier de ces rôles appartient à la silice, non-seulement dans une grande quantité de produits naturels, mais aussi dans les verres et dans les laitiers. Cette manière d'envisager la formation de scories a répandu un nouveau jour sur la réduction des oxides métalliques.

Puisque les laitiers sont des espèces de silicates, on peut quelquefois améliorer les procédés, en composant ces corps d'après les principes de la chimie. Cependant ces améliorations présentent des bornes très-restreintes; parce que la composition des ces silicates, très-dépendante du degré de chaleur produit, correspond rarement aux formules atomistiques. Néanmoins il est bien important de connaître au juste ce qui se passe dans la formation des laitiers, afin que la théorie puisse par la suite prêter un secours plus efficace à la pratique.

Nous parlerons plus tard des diverses espèces de scories qui se produisent dans la préparation du fer. Il existe peu de silicates à une seule base; ils en ont au moins deux, et quant à la composition des scories, elle est très-compliquée.

Le silicate de peroxide ne se forme jamais dans les opérations métallurgiques du fer, à cause de la présence continuelle du charbon. Le silicate de protoxide est très-fusible, le bisilicate l'est moins, et le trisilicate est assez refractaire.

M. Starbæck a fait quelques expériences intéressantes sur les silicates: il serait à désirer qu'elles fussent continuées.

313. La nature nous offre le fer oxidé, soit pur, soit combiné avec d'autres oxides métalliques, avec du soufre, et particulièrement avec les oxides de plusieurs métaux terreux, dans un état de combinaison tel que l'art ne peut

limiter: obtenus dans nos laboratoires, ces composés sont toujours en masses vitrifiées; extraits du sein de la terre, ils possèdent un éclat métallique ou ils présentent l'aspect terreux.

Ne connaissant point les forces et les moyens employés par la nature, nous ne pouvons regarder comme identiques ces corps qui, de formes différentes, donnent par l'analyse les mêmes résultats. Le peroxide nous offre à ce sujet un exemple remarquable; on le trouve à l'état de fer spéculaire, et à l'état d'oxide rouge; ces minérais offrent la même composition, bien que par leur aspect extérieur, comme par leur manière de se comporter au feu, ils aient entre eux peu de ressemblance.

RÉSUMÉS ET CONCLUSIONS.

314. Si maintenant, nous reportons nos regards en arrière (155—304), nous reconnaîtrons au fer la faculté de s'unir à presque toutes les autres substances. Il ne peut jamais être mis en œuvre tel que la nature nous le présente. Dans son état de plus grande pureté, on le trouve uni à l'oxigène; et le plus souvent, ses oxides sont combinés encore avec d'autres oxides, des terres, de l'acide phosphorique, de l'acide carbonique et de l'eau; ou bien ils sont si intimement mélangés avec des sulfures de fer, des sulfates terreux (le gypse, le spath pesant) qu'on ne peut en retirer le métal à l'aide d'une simple opération mécanique. Il faut donc le réduire au feu, et il n'existe qu'un seul réactif qui puisse remplir cet objet, c'est le carbone; mais celui-ci réduit aussi tous les autres corps oxidés et se combine avec le fer dont il modifie les propriétés.

315. On ne peut donc extraire le fer de ses minérais, sans lui fournir l'occasion de s'unir à d'autres corps, et sur-tout au réactif employé dans l'opération. Si, comme

la plupart des métaux, le fer n'avait point d'affinité pour cet agent, sa préparation serait très-simple. Si, au contraire, on ne pouvait le séparer du réactif, il ne serait connu qu'à l'état de fonte; mais le même corps, l'oxigène enlevé d'abord par le carbone, enlève ce dernier à son tour. C'est un effet réciproque de la forte attraction qui règne entre le fluide élastique et le combustible. Cependant, en cédant le carbone à l'oxigène, le fer obéit à sa première affinité et s'oxide en partie, lorsque la décarburation a lieu par l'oxigène libre, et qu'elle ne s'effectue point par une addition d'oxide: une forte proportion de carbone contenu dans le métal augmente les difficultés et l'oxidation du fer.

316. Si les fers carburés ne différaient entre eux que par la quantité de carbone qu'ils contiennent, ils devraient présenter, à peu près, les mêmes phénomènes dans leur traitement par les acides ou par d'autres corps, ce qui n'a pas lieu; et en admettant même, que par cette hypothèse, on pût se rendre compte des grandes variations qu'offrent ces fers dans la dureté, la ténacité, la couleur, les propriétés magnétiques, etc., on ne pourrait jamais expliquer le changement de la fonte blanche en fonte grise et *vice versa*, sans aucune variation dans le contenu de carbone. D'un autre côté, les effets obtenus par la fusion et le grillage, ainsi que les produits de la décomposition, prouvent évidemment que le carbone se trouve contenu dans le fer de diverses manières.

Il n'y a que la fonte grise qui renferme du carbone libre, du graphite mêlé au fer carburé (à l'acier). Dans la décomposition par les acides, le graphite ralentit seulement l'opération. Le carbone combiné subit des altérations considérables: si les acides contiennent de l'eau, il s'échappe avec le gaz hydrogène, ou il se charge encore d'oxigène et se change en un liquide huileux, ou bien il reste oxidé dans le résidu, sous la forme d'une substance noire, très-in-

flammable; si les acides sont concentrés, une petite partie de carbone se dégage à l'état d'acide carbonique, une autre reste dissoute dans la liqueur, une troisième enfin est oxidée, formant une poudre rouge brunâtre, très-facilement inflammable. Ces produits se présentent toujours, lorsque le carbone est combiné avec toute la masse de fer. Si, au contraire, le fer carburé contenait un composé de carbone et de fer à proportions déterminées, mêlé intimement à la masse, et résistant aux acides, comme le fait, par exemple, une grande partie de phosphure de fer, quand on traite la fonte par l'acide hydrochlorique, on pourait obtenir ce carbure à proportions constantes. Voilà ce qui arrive effectivement quand on décompose l'acier non trempé ou la fonte blanche devenue grise par le grillage. L'action de l'acide sur un fer, contenant un pareil polycarbure, est plus prompte qu'elle ne le serait sur la fonte blanche et sur l'acier trempé, et le carbone combiné avec peu de métal éprouvera aussi de plus grandes modifications. Par l'acide nitrique, on obtient, avec les *fers carburés moux*, une poudre rouge brunâtre, et avec les *fers carburés durs*, un charbon noir qui ne devient rouge qu'en séjournant dans l'acide. Par l'action de l'acide sulfurique ou hydrochlorique étendu d'eau, les fers carburés moux produisent une substance graphiteuse d'un volume considérable, tandis que les fers carburés durs, traités par les mêmes acides, ne donnent qu'une petite quantité de charbon noir.

317. Le carbone se trouve donc contenu dans le fer de trois manières différentes : 1° à l'état de carbone libre ou de graphite; 2° combiné avec toute la masse du fer; 3° enfin à l'état de polycarbure dissous dans toute la masse. Le degré de dureté du fer n'est déterminé que par la quantité de carbone combiné avec toute la masse, et le métal devient d'autant plus mou qu'une plus grande quantité de ce carbone passe soit à l'état de carbone libre, soit à l'état de polycarbure.

Nous allons examiner maintenant si ces diverses combinaisons de fer et de carbone sont à proportions déterminées; nous commencerons par la fonte blanche, dont tout le carbone est combiné d'une manière uniforme avec toute la masse du métal.

On n'a jamais trouvé dans cette fonte au-delà de 5,3 p. % de carbone. Tenue long-temps en bain dans un creuset brasqué et couverte de noir de fumée, elle n'éprouve aucune augmentation de poids. Il s'ensuit que le fer ne peut se charger que de 5,3 p. % de carbone. C'est la proportion qu'offre la fonte blanche lamelleuse, qui est une espèce de composé neutre, contenant deux atômes de fer sur un atôme de carbone, analogue à l'hydrogène carburé et au carbure de soufre.

Les autres espèces de fonte blanche ne paraissent pas douées de proportions déterminées; cependant la parfaite homogénéité de la masse, prouve que la combinaison du fer avec le carbone est la même pour toutes les parties du métal; il en résulte qu'au-dessous du point de saturation, ces deux corps peuvent, comme beaucoup d'autres, se combiner en toutes sortes de proportions.

318. Nous avons vu que l'acier trempé appartient à la même classe que la fonte blanche; on ne peut assigner au juste la limite qui sépare ces deux corps. Le fer contenant 3 p. % de carbone combiné, peut être classé tout aussi bien parmi les aciers très-durs que parmi les fontes: chauffé et travaillé avec beaucoup de précautions, il finit par devenir un peu malléable. L'acier naturel et l'acier de cémentation ne contiennent pas une si forte dose de carbone: cependant elle ne descend pas au-dessous de 0,9. Si elle était plus petite, le métal, n'acquérant que très-peu de dureté par la trempe, pourrait être rangé parmi les fers durs.

J'ai analysé un acier fondu de la plus grande dureté, qui m'a donné 2,8 à 3 p. % de carbone: après la trempe il ressemblait parfaitement à la fonte blanche.

319. Il est plus difficile de s'expliquer au juste la composition de la fonte blanche grillée, et celle de l'acier chauffé et refroidi lentement. L'analyse paraît prouver que le carbone qu'ils contiennent n'est pas en entier à l'état de polycarbure; ils renferment une petite quantité de carbone combiné. Le fer en barres, doué d'une certaine dureté, est dans le même cas. On peut donc regarder les *fers carburés moux*, la fonte grise exceptée, comme des mélanges intimes de polycarbure et de fer, contenant une petite dose de carbone combiné. Quelque singulières que paraissent ces diverses combinaisons du fer avec le carbone, on ne doit pas en être surpris, puisque des alliages d'autres métaux nous présentent des composés analogues.

320. La fonte grise ne peut avoir des proportions déterminées, d'autant plus qu'elles n'existent pas toujours dans la fonte blanche qui lui donne naissance. Mais il serait intéressant de connaître la composition du fer qui est mélangé avec le graphite. Plusieurs espèces de fonte grise paraissent encore renfermer du polycarbure; d'autres ne semblent contenir, outre le graphite, que du carbone combiné avec toute la masse du métal. Voici les résultats des analyses de cinq espèces de fonte grise:

DÉSIGNATIONS DES FONTES.	CARBONE combiné.	CARBONE libre.	TOTAL du carbone.
Fonte grise tirée des forges de Sayner, près de Coblentz, d'un fourneau à charbon de bois, alimenté avec des oxides bruns.	0,89	3,71	4,60
Fonte grise tirée des forges de Widderstein (Siegen), d'un haut fourneau à charbon de bois, alimenté avec un mélange d'oxides bruns et de fer spathique.	1,03	3,62	4,65
Fonte grise provenante des forges de Malapane (Haute-Silésie), d'un fourneau à charbon de bois.	0,75	3,15	3,90
Fonte très-grise provenante des forges dites Kœnigshütte, d'un fourneau activé avec du coke et alimenté avec des oxides bruns ocreux.	0,58	2,57	3,15
Fonte grise provenante du même fourneau, lorsqu'il y régnait un moindre degré de chaleur.	0,95	2,70	3,65

On voit par ces analyses, qui ont été faites avec les plus grands soins, que la fonte parfaitement grise contient très-peu de carbone combiné, ce qui l'empêche d'acquérir une grande dureté par la trempe *; on voit aussi que le contenu total de carbone est plus petit que celui de la fonte blanche lamelleuse, et qu'il diminue à mesure que la température du haut fourneau s'élève.

La décomposition a été effectuée par le muriate d'argent (301). Ces diverses espèces de fonte grise ont donné de petites quantités de polycarbure.

Il est d'autant plus difficile de changer la fonte grise en fonte blanche par une seconde fusion et un refroidissement

* Il paraît naturel d'ailleurs que le graphite interposé entre les particules du fer carburé, s'oppose à l'effet de la trempe. Le T.

subit, qu'elle contient moins de carbone. La malléabilité de ce fer cru est plus grande à la température ordinaire qu'à la chaleur rouge *.

321. La fonte blanche ne se change en fonte grise, par une seconde fusion, que dans le cas où la chaleur a été portée à un degré plus élevé qu'il ne serait nécessaire pour opérer la liquéfaction. En modifiant convenablement la température et surtout la durée du réfroidissement, on peut obtenir, à volonté, de la fonte blanche, de la fonte mêlée ou de la fonte parfaitement grise. Les floss caverneux et même l'acier, quand il est très-dur, peuvent se convertir, par ce procédé, en fonte grise aussi bien que la fonte blanche ordinaire : il faut les exposer à une chaleur très-intense, les maintenir quelque temps à l'état liquide dans le *creuset d'argile*, et prolonger ensuite la durée de la congélation. Si la chaleur n'a pas été assez forte, on n'obtient qu'une fonte douce et grise, ne contenant point de carbone libre et renfermant seulement du polycarbure. Ce dernier se forme déjà, quand on grille le fer, qui toutefois retient alors une plus grande quantité de carbone combiné avec toute la masse. On sait d'ailleurs que l'acier trempé devient d'autant plus doux que la chaude est plus forte et plus prolongée.

La fonte blanche, parfaitement lamelleuse, ne devient pas douce et grise par le grillage opéré hors du contact de l'air et suivi d'un lent refroidissement, probablement parce que cette fonte, chargée de carbone au maximum, constitue un produit neutre. Les fers carburés moux se blanchissent d'autant mieux par une chaude suivie d'un refroidissement subit, qu'ils contiennent plus de carbone.

La fonte grise, grillée long-temps hors du contact de l'air, devient très-dure par la trempe et reste douce, après un lent

* Parce que le carbone du polycarbure se combine, à la chaleur rouge, avec toute la masse du fer. Le T.

refroidissement; elle contient alors beaucoup de polycarbure et peu de graphite. Dans cette opération, le métal se trouve cémenté dans le carbone libre qu'il contient à l'état de mélange. C'est aussi pour cette raison que le fer cémenté avec la fonte grise, se convertit en acier. Si la fonte *grise* est soumise à une chaude rapide, le graphite n'a pas le temps de se combiner avec le métal dont la dureté ne peut alors s'accroître par la trempe, qu'en raison de la petite quantité de polycarbure qu'il renferme.

La fonte grise qui contient peu de graphite, se change difficilement en fonte blanche, par une seconde fusion et un refroidissement subit: cette espèce de fonte exige un très-haut degré de température, pour entrer en liquéfaction; il s'ensuit que les moyens employés pour opérer le refroidissement instantané, ne peuvent avoir la même efficacité que sur une fonte pénétrée d'une plus faible chaleur.

322. Il n'est guère probable que la fonte grise, à l'état liquide, contienne du carbone libre, parce qu'elle ne pourrait alors devenir blanche par le refroidissement subit *.

Toutefois eu égard à l'infusibilité du graphite. On peut admettre que la fonte grise refondue rapidement à un haut degré de température, contienne encore du graphite qui n'entre en combinaison avec le fer que par la prolongation de la chaleur **. C'est probablement pour cette raison que cette fonte liquéfiée rapidement, est moins disposée à blanchir que la fonte grise qui a été tenue long-temps en fusion à une chaleur moins intense.

323. Le fer carburé (la fonte ou l'acier) doit être consi-

* Il existe effectivement des fontes grises qui ne peuvent être blanchies par ce moyen. Le T.

** Un grand nombre de fontes contiennent du graphite au sortir du haut fourneau; il surnage sur le bain, et on le recueille mélangé avec l'oxide. On est donc obligé d'admettre que du moins une partie du graphite se forme déjà dans le foyer. Le T.

déré comme un alliage de deux métaux, qui est toujours homogène à l'état liquide, puisque cette homogénéité subsiste après un prompt refroidissement. Si donc on voulait unir à ce composé un troisième métal, on obtiendrait des résultats très-différens de ceux que présenterait la combinaison du fer pur avec ce même métal. Il arrivera souvent que l'alliage constituera seulement un mélange dans le premier cas, et une véritable combinaison dans le deuxième. Par la même raison, le résultat sera tout autre, quand le troisième métal, au lieu d'être ajouté au fer carburé (à l'acier ou à la fonte) s'offre au fer au moment de la désoxidation, et en présence d'un excès de carbone. Cette considération jette un nouveau jour sur les alliages de l'acier et sur ceux du fer avec d'autres métaux.

324. Réduits en même temps que le fer, les métaux étrangers se combineront avec ce dernier plus facilement qu'avec l'acier ou la fonte déjà formée. Une partie du fer pur s'unira au métal étranger et ne pourra pas se carburer; car il n'existe presque pas de métaux qui montrent de l'affinité pour le carbone, ainsi il n'est pas probable qu'ils puissent s'allier au fer carburé. La fonte devra donc être regardée comme un mélange intime de fer carburé et d'alliages de fer avec d'autres métaux; tandis que les alliages d'aciers sont le plus souvent des mélanges intimes de fer carburé avec le métal seul qu'on y ajoute; mais quand, par un procédé quelconque, la fonte a perdu son carbone sans que les métaux étrangers aient subi l'effet de l'oxidation, il n'existe plus aucun obstacle qui empêche leur combinaison avec le fer. Il s'ensuit que le métal étranger peut, en certains cas, devenir très-nuisible au fer, et agir d'une manière tout autre sur l'acier avec lequel il ne forme qu'un mélange.

325. Il existe très-peu de métaux qui, combinés même au minimum avec le fer, ne diminuent sa ténacité. On en exceptera le plomb et le zinc, mais il est encore douteux

qu'ils se combinent avec le fer dans les hauts fourneaux et les feux d'affinerie. On ne connaît donc que le manganèse qui, allié au fer en assez forte dose, ne soit pas nuisible: il est possible en outre que le fer se charge de 2 ou 3 p. % de titane, sans devenir plus cassant à froid.

Les corps qu'on rencontre le plus souvent dans la fonte, sont le phosphore, le soufre et le silicium; tous les trois diminuent la ténacité du fer à un haut degré. Il est heureux que l'antimoine, l'étain, l'argent, le bismuth, l'arsenic et le cuivre accompagnent rarement les minérais de fer. On ne sait pas encore au juste si l'aluminium existe dans la fonte; le calcium et surtout le magnésium s'y trouvent assez fréquemment, mais le fer qui en provient n'en offre pas une trace. Le chrome se voit souvent dans la fonte, mais je n'en ai pu découvrir dans le fer forgé.

Ces corps étrangers unis à de petites quantités de fer pur, se trouvent dans la fonte, mélangés avec le fer carburé, sans changer ni le caractère ni la couleur du fer cru. Si le manganèse, le soufre, le phosphore et peut-être encore d'autres corps, favorisent quelquefois la formation de la fonte blanche, on ne doit l'attribuer qu'à la fusibilité des minérais qui renferment ces substances; c'est pour cette raison que les silicates de fer (les scories de forges), sont si disposés à donner cette espèce de fer cru par leur réduction dans les hauts fourneaux. En effet si la fonte devenait blanche par son alliage avec le manganèse, le phosphore, le silicium, etc., ces corps existeraient dans la fonte blanche en plus grande quantité que dans la fonte grise, mais c'est précisément le contraire qui a lieu pour le manganèse et le silicium. Quant au phosphore, on le trouve en même quantité dans l'une et dans l'autre espèce de fer cru, lorsqu'elles proviennent des mêmes minérais *.

* Nous ferons toutefois observer que des minérais pyriteux doivent

326. Abstraction faite des corps étrangers qui sont dans le fer cru, on peut se demander quelle est la fonte qui mérite la préférence? Les objets moulés ne peuvent se confectionner avec la fonte blanche, un très-petit nombre excepté. Mais dans certains cas elle convient parfaitement à la fabrication de l'acier et du fer ductile, surtout quand le carbone ne doit pas être enlevé par des additions de scories, et qu'on s'en débarrasse par l'action de l'oxigène libre. Cette fonte se ramollit peu à peu pendant la fusion et se laisse conserver long-temps dans un état demi-liquide, d'autant plus que sa fusibilité diminue à mesure que la décarburation fait des progrès. Elle présente alors à l'action de l'air atmosphérique une grande surface, qu'on peut renouveler, ce qui abrège le travail et complète la décarburation. La fonte grise, au contaire, demande une température très-élevée pour entrer en fusion, et la liquéfaction devient presque instantanée. Or, à l'état liquide le métal offre au courant d'air le moins de surface possible. De plus l'affinité pour le carbone est augmentée à ce haut degré de température, en sorte que la décarburation est lente et occasionne toujours un déchet considérable. On prévient à la vérité ce déchet par des additions de scories, mais on subit toujours une perte de temps et de combustible. La fonte blanche pure mérite donc la préférence, quelle que soit la méthode de décarburation.

327. On est forcé très-fréquemment de renoncer aux avantages qu'offre la fonte blanche pour la fabrication du fer. Le plus grand nombre de minérais ne peuvent la donner d'une manière continue sans qu'il en résulte les plus graves inconvéniens. D'un autre côté le fer cru contient

toujours se traiter pour fonte grise, et que la fonte blanche obtenue de ces minérais est en général plus sulfureuse que la première, et donne aussi de plus mauvais fer. Le soufre se conduit sous ce rapport d'une autre manière que le silicium, le phosphore et le manganèse. Le T.

presque toujours, ainsi que nous l'avons dit, du soufre, du phosphore, du silicium, etc. Et il devient difficile de l'en débarraser lorsque la décarburation est trop prompte, ce qui a lieu pour la fonte blanche, qui passe avec une extrême facilité à l'état de fer ductile. La fonte grise au contraire retient le carbone avec plus de force, demeure plus long-temps liquide, laisse ces corps étrangers exposés à l'action prolongée de l'oxigène, s'épure par conséquent davantage et donne souvent de meilleurs produits.

328. Les difficultés de traiter la fonte grise et la facilité que présente la fonte blanche pour sa conversion en fer, sont tellement prononcées, que dans certains cas on est obligé de blanchir la première, par une opération séparée. Quelquefois on a seulement pour but de changer le mode de combinaison du fer avec le carbone; le plus souvent on tâche aussi de se débarrasser d'une partie des substances nuisibles, du phosphore et du silicium.

La fonte grise obtenue au charbon de bois, se blanchit plus facilement que la fonte grise qui sort des fourneaux à coke alimentés surtout avec des minérais réfractaires.

Nous avons fait observer précédemment que la fonte blanche grillée au contact de l'air, acquiert un premier degré de malléabilité. On profite de cet avantage pour la préparer et diminuer son contenu de carbone, ou bien pour changer seulement le carbone combiné en polycarbure; car ce dernier est détruit promptement par l'action de l'oxigène.

329. Il ne s'agit que de bruler une partie du carbone renfermé dans la fonte blanche, pour la changer en acier ou en fer ductile. Le grillage seul ne conduirait à ce but qu'avec lenteur et d'une manière imparfaite: on est donc obligé de refondre le fer cru et de le soumettre en même temps à l'action de l'oxigène. Les moyens employés à cet effet constituent ce qu'on appelle l'affinage de la fonte ou

sa conversion soit en acier, soit en fer ductile. Le grillage abrège cette opération; mais il ne convient que pour la fonte blanche: non grillée, elle produit ordinairement de l'acier; grillée, elle se change en fer ductile. La fonte grise est plus disposée à donner le fer que l'acier; cependant la nature du résultat dépend sur-tout de la manipulation et de l'adresse des ouvriers. On convertit l'une et l'autre espèce de fonte en fer ou en acier; mais on n'en retire pas les mêmes bénéfices.

330. La nature et la qualité des produits dépendent donc non-seulement du travail, mais aussi des minérais et du combustible considéré comme réactif. Nous traiterons de ces matières premières, avant d'entrer dans le détail des constructions et des manipulations; mais il est nécessaire de faire connaître d'abord les procédés les plus convenables, qu'on peut employer pour découvrir et doser les corps étrangers qui fréquemment souillent le fer et en diminuent la ténacité.

DE L'ANALYSE DES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE FERS.

331. Il ne peut exister dans le fer de corps oxidés, et les substances qu'il contient, s'y trouvent toujours en si petites quantités qu'il n'est guère facile de les déterminer.

Le dosage le plus difficile est celui du charbon. Toutefois le carbone libre étant insoluble dans les acides est donné par le résidu; mais il n'existe que dans la fonte grise. Le carbone combiné se change, par l'acide hydrochlorique, en gaz et en huile; l'acide sulfurique occasionne aussi une forte perte de carbone, et l'acide nitrique en dissout une grande partie. On ne peut donc doser avec une certaine précision le carbone contenu dans le fer, si on le dissout dans les acides; on y parvient beaucoup mieux par l'emploi du salpêtre ou du muriate d'argent (299, 301). Si le fer

contenait du chrome et beaucoup de phosphore, la détermination du carbone par le muriate d'argent présenterait de grandes difficultés.

Le *contenu de soufre* est toujours si petit qu'on ne pourrait le déterminer par les sels de baryte, après que la dissolution eût été effectuée par l'eau régale, à la chaleur de l'ébullition et que le soufre eût été changé en acide sulfurique. On doit dissoudre le fer dans l'acide hydrochlorique pur pour empêcher l'oxidation du soufre et pour dégager ce dernier à l'état de gaz hydrogène sulfuré. Je suis dans l'habitude d'opérer sur cinq grammes de fer qui, réduits en grains de la grosseur du millet, sont dissous à froid dans une cornue. Le gaz doit passer par deux flacons renfermant de l'acétate de plomb dissous dans de l'eau acidulée. Le fer cru demande dix à quinze jours, l'acier huit à dix, le fer forgé trois à quatre jours pour se dissoudre. Le résidu, dont la couleur est noire, ne contient pas une trace de sulfure; c'est donc un moyen très-exact de déterminer le contenu de soufre. Le précipité noir qui se forme dans les flacons, doit être lavé successivement dans l'acide acétique et dans l'eau pure, et séché ensuite à la chaleur de l'ébullition sur le filtre, qui a été pesé avant l'opération. Le sulfure de plomb s'attache si fortement au filtre, qu'il ne pourrait en être séparé sans perte : l'augmentation de poids donne la quantité de sulfure de plomb, qui contient sur 100 parties 13,45 de soufre.

332. Le *phosphore* et le *chrome* se déterminent de la manière suivante: on dissout le fer dans l'eau régale, pour acidifier les deux corps qu'on cherche. On laisse évaporer la dissolution avec précaution dans des capsules de porcelaine, et l'on élève le degré de chaleur jusqu'au rouge. Il se dégage un peu de chlorure de fer, et le résidu ressemble à l'oxide brun rougeâtre. Ce résidu rétiré de la capsule, pesé et réduit en poudre, est mélangé intimement avec trois fois

son poids de carbonate de potasse, et mis en fusion. On n'opère dans ce cas que sur trois grammes de fer au plus.

Il faut que le mélange, fondu dans un creuset de platine et mis en ébullition dans l'eau pure, reste en repos; afin que l'oxide, qui dans un état de grande ténuité passerait par le filtre, puisse se déposer. Il est essentiel aussi que la fusion avec la potasse soit parfaite, afin que l'oxide de fer abandonne l'acide entièrement. Si le fer contenait du manganèse, celui-ci se trouverait dans la dissolution alcaline, mais on sait qu'il se dépose avec le temps au contact de l'air. On filtre, on fait bouillir ensuite le résidu dans l'eau pure, et on le reprend sur le filtre. La liqueur alcaline, devenue parfaitement claire, doit être sursaturée d'acide hydrochlorique et évaporée jusqu'à siccité. Avant de verser ensuite de l'eau sur la poudre, on fait bien de l'humecter avec un peu d'acide hydrochlorique, afin que le phosphate d'alumine puisse aussi se dissoudre. La liqueur acidulée et débarrassée de la silice par le filtrage, se sursature d'amoniaque caustique; l'alumine, si elle était présente, se précipiterait alors à l'état de sous phosphate. Je n'ai obtenu de cette manière que peu de flocons, dont le contenu d'alumine n'a pu même être constaté. — Sursaturée d'abord d'acide acétique, la liqueur amoniacale se traite ensuite par l'acétate de plomb; il en résulte presque toujours un précipité de phosphate de plomb: je n'ai jamais examiné de fer qui ne contînt point de phosphore. La plus légère trace de chrome se fait connaître par une couleur jaune qu'affecte ce précipité. Il est toujours très-blanc, lorsqu'il ne contient pas ce métal.

Plusieurs expériences m'ont prouvé, qu'on détermine le phosphore par ce procédé mieux qu'en traitant par le sulfure d'amoniaque, le fer dissous dans l'eau régale; attendu que l'oxide retient toujours une certaine partie d'acide phosphorique, qui ne peut être séparée du sulfure de fer

produit par le sulfure d'amoniaque : on sait d'ailleurs qu'on ne pourrait déterminer de cette manière le contenu de chrome, parce que l'acide chromique se change en protoxide, qui se précipite avec le sulfure de fer.

Lorsque la liqueur acide n'est plus troublée par l'acétate de plomb, on recueille le résidu laissé sur le filtre; on le lave d'abord avec de l'acide acétique et ensuite avec de l'eau. Cent parties de ce précipité grillé dans un creuset de porcelaine, à une chaleur faible, renferment 19,4 parties d'acide phosphorique. Le phosphate de plomb qui se forme par ce procédé, se compose, selon mes propres expériences, de quatre atômes d'oxide de plomb et de trois atômes d'acide phosphorique. D'après des analyses récentes de M. Berzélius, ces 19,4 parties d'acide phosphorique contiennent 8,525 parties de phosphore et 10,875 parties d'oxigène.

Si *le chrome* doit être dosé avec exactitude, il faut que le précipité obtenu par l'acétate de plomb, soit dissous par l'acide hydrochlorique concentré et mélangé avec le triple de son volume d'alcool; on sépare le chlorure de plomb, en filtrant, et l'on traite la liqueur avec le gaz hydrogène sulfuré, pour enlever les dernières parties de ce métal. La dissolution filtrée et chauffée, se traite à froid par l'amoniaque caustique, qui précipite en vert l'oxide de chrome formé par la présence de l'alcool.

Je n'ai jamais trouvé ni *du molybdène*, ni *du tungstène* dans le fer; s'ils y existaient il se précipiterait du molybdate et du tungstate de plomb avec le phosphate et le chromate de plomb. On les séparerait facilement, en dissolvant le précipité par l'acide hydrochlorique et en le traitant par le sulfure d'amoniaque : il se déposerait du sulfure de plomb, et les sulfures de molybdène et de tungstène resteraient dans la liqueur; on les précipiterait à l'état de sulfure par une addition d'acide.

Si le fer renfermait *de l'arsenic*, le précipité de phosphate

de plomb serait mélangé aussi d'arseniate de plomb qu'on traiterait comme le molybdate et le tungstate de plomb.

Bien qu'il soit prudent d'examiner avec soin le précipité obtenu par l'acétate de plomb, lors même qu'il est incolore, on n'y trouve le plus souvent, outre l'acide phosphorique, que des traces d'acide chromique.

333. Le *silicium* doit être cherché dans les résidus et dans la dissolution, attendu qu'une partie de la silice est toujours dissoute par l'acide. Le *calcium* se dissout entièrement. — Le *barium* et l'*aluminium* se comportent comme le silicium. La fonte m'a souvent donné du calcium et du barium; mais je ne les ai jamais trouvés dans le fer ductile.

Pour déterminer le contenu en bases terreuses et en titane, on doit employer l'eau régale et opérer à la chaleur de l'ébullition, afin de convertir en acides les corps acidifiables et de faciliter l'analyse du résidu. Ce dernier ne se compose que de carbone oxidé, de silice, d'un peu de baryte, et de graphite si c'est de la fonte grise qu'on veut analyser. On brule le charbon sous le moufle du fourneau d'essai, et l'on détermine le poids des cendres. On doit ensuite les laisser digérer dans l'acide hydroclorique, filtrer la liqueur, la saturer d'amoniaque caustique, puis y ajouter de l'eau de chaux qui la troublerait aussitôt et occasionnerait un précipité si, outre la silice, il y avait eu de la baryte dans le résidu.

La liqueur d'eau régale contenant outre l'oxide de fer, du protoxide de manganèse et d'autres oxides, renferme encore des terres, de l'acide phosphorique et de l'acide arsenique. Les oxides des métaux pesans se déterminent par un procédé particulier. On ajoute à la liqueur de l'acide tartarique, jusqu'à ce qu'il ne se forme point de précipité par une sursaturation d'amoniaque caustique. Puisque l'acide tartarique contient toujours de la silice, on la dose, en incinérant préalablement une certaine por-

tion de cet acide. La liqueur amoniacale se traite ensuite par l'hydrosulfate d'amoniaque, et lorsque des additions successives de ce sel ne peuvent plus la troubler, on la prend sur le filtre, après avoir remué plusieurs fois et laissé déposer le précipité qui est très-volumineux. On lave sans discontinuer avec de l'eau, à laquelle on ajoute de l'hydrosulfate d'amoniaque pour ne pas dissoudre de sulfure de fer. La liqueur concentrée au feu doit être saturée par l'acide hydrochlorique, afin que tous les sulfures soient décomposés.

La dissolution contient encore, outre l'acide phosphorique, toutes les terres et l'oxide de titane. On la fait évaporer à siccité; on chasse de cette manière les sels d'amoniaque, et le résidu charbonneux se brule sous le moufle du fourneau d'essai. On déduit du poids des cendres celui de la silice qui a été introduite dans la liqueur par l'acide tartarique. Si le fer contient beaucoup de phosphore, les cendres sont fortement agglutinées. On les met en fusion dans un creuset de platine, après les avoir mélangées avec une grande quantité de carbonate de potasse, et l'on détrempe dans l'eau bouillante la masse fondue. On examine si le résidu contient de la silice, de l'alumine, de la chaux, de la baryte ou de l'oxide de titane. (Je n'y ai jamais trouvé d'alumine). On traite cette matière à chaud avec l'acide hydroclorique, en la faisant évaporer avec précaution, afin que détrempée de nouveau dans l'eau, elle ne laisse que la silice pour résidu. L'amoniaque caustique précipite ensuite l'alumine et l'oxide de titane, de cette dissolution étendue d'eau et passée par le filtre. On ne pourrait séparer l alumine de l'oxide de titane, qu'en les fondant avec du carbonate de potasse; l'eau versée sur la masse ne dissoudrait que l'alumine et laisserait précipiter le titanate de potasse.

Pour découvrir la chaux, on essaie par l'oxalate d'a-

moniaque, la liqueur purgée d'alumine et d'oxide de titane. Un contenu de baryte est révélé par une légère addition de carbonate de potasse employé à la chaleur de l'ébullition.

334. Le contenu *de manganèse* se détermine le mieux par un essai particulier. On dissout le fer à 100° dans l'eau régale, et l'on décompose ensuite à une très-basse température la dissolution fortement acidifiée, en y ajoutant successivement des petites doses de carbonate d'amoniaque dissous dans l'eau. Si le fer a été oxidé au summum, si la liqueur a été bien étendue d'eau et fortement acidulée, elle renfermera le manganèse en entier. Ce procédé est aussi bon que l'emploi du succinate d'amoniaque, qui demande beaucoup de précautions.

Le carbone jaunit souvent la liqueur, lors même qu'elle ne contient plus une trace d'oxide. Dès que la teinture de tournesol est faiblement colorée en bleu, il ne faut plus ajouter de carbonate d'amoniaque; on prend la liqueur tout de suite sur le filtre et on lave sans discontinuer avec de l'eau froide. On neutralise la dissolution avec quelques gouttes d'acide hydrochlorique et on la concentre par l'évaporation. Elle pourrait contenir, outre le protoxide de manganèse, de la chaux ou de la baryte. On doit donc les précipiter par l'hydrosulfate d'amoniaque, recueillir le sulfure de manganèse, le dissoudre dans l'acide-hydrochlorique concentré, filtrer et traiter la liqueur acide, à la chaleur de l'ébullition, avec du carbonate de potasse. Le précipité obtenu calciné long-temps dans un creuset découvert, contiendra sur 100 parties 72,75 de manganèse métallique.

335. Le contenu *de cuivre, d'arsenic, de plomb, d'étain, de bismuth, d'antimoine* ou *d'argent,* se détermine le plus facilement au moyen d'un courant de gaz hydrogène sulfuré, qu'on fait passer à travers la dissolution

étendue d'eau et opérée par l'eau régale. On grille le précipité avec précaution sur un têt de porcelaine, pour brûler la grande quantité de soufre qui se dépose, à cause du changement du peroxide de fer en protoxide. S'il ne reste rien sur le têt, le fer ne contient pas ces métaux, dont ni les sulfures ni les oxides ne sont volatiles. Si au contraire on obtient un résidu, on le dissout dans l'acide nitrique ou dans l'eau régale, selon la nature du métal dont on soupçonne la présence. Quand on recherche l'arsenic ou l'antimoine, on doit omettre le grillage.

De petites quantités d'argent se dissolvent dans l'eau régale. On ne peut donc les déterminer qu'en traitant la dissolution par le gaz hydrogène sulfuré.

On ne connaît pas encore de bonnes méthodes pour trouver de petites doses de zinc alliées au fer. Il est certain que dans ce cas ni l'amoniaque ni la potasse caustique ne constituent pas des réactifs très-bons. On fait mieux d'employer le succinate d'amoniaque; mais il est essentiel que le fer soit oxidé au maximum dans la dissolution, et que cette dernière soit parfaitement neutralisée par l'amoniaque caustique, avant qu'on ne précipite l'oxide de fer par le succinate: il est essentiel aussi que la dissolution soit très-étendue d'eau. Ce procédé convient également pour la recherche du nickel et du cobalt.

336. Eu égard aux petites quantités de substances étrangères contenues dans le fer, il est presque indispensable qu'on fasse pour chacune d'elles une opération particulière. Au reste il est bien rare que ce métal renferme d'autres corps que le carbone, le soufre, le phosphore, le silicium et le manganèse qui n'y manque presque jamais, joints à quelques traces de titane et de chrome

DEUXIÈME SECTION.

DES MATIÈRES PREMIÈRES

EMPLOYÉES POUR L'EXTRACTION DU FER.

PREMIÈRE DIVISION.

DES MINÉRAIS DE FER.

337. Le sidérurgiste appelle minérais de fer, les substances minérales que, dans les opérations en grand, il peut employer avec avantage pour en retirer le fer qu'elles contiennent. Toutes les autres, quelle que soit même leur richesse en fer, ne méritent point ce nom sous le rapport métallurgique.

338. La nature nous offre le fer sous des formes très-variables; rarement natif, il est en général combiné avec d'autres substances. Voici un tableau succinct des divers états du fer qu'on trouve dans le règne minéral.

1. Le fer ductile NATIF.
2. Le fer SULFURÉ.
3. Le fer ARSENICAL.
4. Le PROTOXIDE ET LE PEROXIDE (*oxidum ferroso-ferricum*) caractérisé par une raclure noire ou grise et par la forme d'octaèdre.
5. Le PEROXIDE *anhydre* se distinguant par la raclure rouge.
6. Id. *combiné avec l'eau* présentant une raclure brune ou jaune.

LE FER OXIDÉ COMBINÉ AVEC LES ACIDES ou bien avec des corps oxidés qui les remplacent.

7. Avec *l'acide titanique.*
8. Avec *l'acide tungstique.*
9. Avec *le protoxide de chrome.*
10. Avec *la silice* acompagnée toujours d'autres silicates.
11. Avec *l'acide carbonique*, en combinaison avec d'autes carbonates.
12. *Id.* en combinaison avec d'autres carbonates et mélangé avec des silicates.
13. Avec *l'acide phosphorique.*
14. Avec *l'acide arsenique.*
15. Avec *l'acide sulfurique et l'arsenique.*
16. Avec *l'acide oxalique.*

339. L'existence du fer natif, son origine terrestre et surtout son origine météorique ne laissent plus de doute. Le phénomène de la chute des aréolithes est constaté depuis long-temps de la manière la plus authentique. Des masses de fer natif trouvées dans des terrains où elles ne pouvaient avoir reçu naissance, éveillèrent d'abord l'attention des naturalistes: après que Pallas eut fait connaître celle de la Sibérie, on découvrit en Europe, en Afrique et dans les deux Amériques des masses semblables; on leur supposa une origine différente de celle des autres minérais, quand le fer météorique d'Agram, tombé le 26 mai 1751, leva toute espèce de doutc. L'analyse chimique y révéla, ainsi que dans plusieurs aréolithes, la présence du nickel, qui dès lors fut regardée comme un signe caractéristique.

340. Proust est le premier qui a constaté un contenu de nickel dans le fer natif de Tucumana, en Amérique: quelques années plus tard, Klaproth a montré que le nickel existe dans tous les fers natifs qu'il avait alors analysés, et qui paraissaient évidemment d'origine météorique. Il trouva dans le fer natif:

de Sibérie	96,75	de fer et	3,25 de nickel.
d'Amérique	97,50	—	2,5
de Hongrie	96,5	—	3,5
de Bohême	98,5	—	1,5

Les progrès de la chimie et l'exactitude apportée dans les analyses, ont fait découvrir dans le fer météorique d'autres métaux et de plus grandes quantités de nickel. M. Stromeyer montra qu'elles s'élevaient souvent à 10 p. %. Gehlen y soupçonna l'existence du cobalt. M. Stromeyer en fournit une preuve positive. M. Laugier fit voir que le fer de Sibérie contenait du chrome et du soufre, après qu'il eût trouvé ce métal dans l'aréolithe tombée à Vérone en 1663; enfin on y reconnut aussi des traces de manganèse.

D'après mes propres expériences, le soufre contenu dans le fer de Sibérie, est à l'état de pyrite commune; il en résulte que ce fer météorique doit être un mélange et ne peut constituer un composé chimique. On a cru long-temps que le fer météorique contenait toujours du nickel, etmême du cobalt; mais on doit revenir de cette opinion, si l'on fait attention que la majeure partie de ces deux métaux s'y trouve à l'état de mélange. D'ailleurs M. Vauquelin a prouvé que le fer météorique tombé à Chassigny, près de Langres, et dont l'origine a été parfaitement constatée, ne renferme pas une trace de nickel. Klaproth avait déjà fait la même observation sur le fer natif de Collina di Brianza, tombé dans le Milanès près de Villa.

Les fers météoriques pourraient contenir du carbone, rien ne paraît s'y opposer. Toutefois la plupart d'entre eux ne renferment pas ce corps. Proust le fait observer expressément, en parlant du fer de Tucumana. MM. Tennant et Gibbs prétendent au contraire avoir trouvé du carbone dans le fer météorique du Cap et dans celui de la Louisiane. M. Vauquelin trouva aussi 2,5 p. % de carbone dans le fer tombé à Valence, en 1806, le 15 mars. Malgré ces faits d'expérience on peut admettre que le carbone est très-rarement une partie constituante du fer météorique; celui de la Sibérie n'en renferme pas une trace.

341. Le fer météorique est ordinairement très-doux, il

partage cette propriété avec tous les fers ordinaires dépouillés de carbone: cependant il en existe aussi qui est aigre; il doit alors sa dureté à des corps autres que le carbone et qui souvent n'y sont qu'à l'état de mélange.

342. Proust a trouvé le *fer natif terrestre* en Amérique, dans des sulfures métalliques qui l'enveloppaient en entier, et qui le protégeaient contre le contact de l'air. Ce fer séparé du minérai par le barreau aimanté, a fait dégager de l'hydrogène pur par sa dissolution dans l'acide sulfurique étendu d'eau.

On a découvert aussi du fer natif en petits grains, à l'état de mélange dans le sable d'où l'on retire le platine.

L'acier natif de Labouiche, en Auvergne, examiné par M. Godon de St.-Memin et contenant 4,3 p. % de carbone et 1,2 p. % de phosphore, n'est autre chose qu'un produit volcanique.

On a prétendu que la masse de fer trouvée à Aix, dans un endroit où elle n'a pu se former, et qui pèse 4000 kilog., présente des empreintes de charbon: je n'ai pu les apercevoir. Cent parties de ce fer renferment, d'après M. Monheim, 83,42 de fer pur, 15 d'arsenic, 0,75 de silice, 0,5 de carbone et 0,33 de soufre. Il est très-probable que cette masse de fer a été formée par les hommes.

Le fer prétendu natif qu'on a trouvé dans la mine de Kirburger, dans le Hachenburg, n'est, d'après mon opinion, qu'un produit de l'art, qu'on fait naître facilement, en grillant le minérai dit fer brun en contact avec le charbon.

Le fer tiré de plusieurs lacs en Suède, et dont il est fait mention dans le manuel d'oryctognosie de Léonard, n'est qu'une véritable fonte grise.

Il serait désirable que l'on connût d'une manière plus positive le fer natif mélangé de graphite, qui a été trouvé dans les montagnes de Scholey, près de New-Yorck. M. Torrey, qui le découvrit, lui donna le nom de sidéro-

graphite; il renferme 54,25 de fer et 11,50 de graphite, composition qui est très-remarquable. Ce fer doué faiblement de la vertu magnétique, présente l'aspect de la fonte grise.

Le plus intéressant de tous les fers natifs terrestres est celui qui a été trouvé dans les mines de S^t^-Jean, à Grosskamsdorf, et que l'on conserve au cabinet minéralogique de Berlin. Il a donné à Klaproth, sur 100 parties, 92,5 de fer, 6 de plomb et 1,5 de cuivre. La présence du plomb dans ce fer est aussi remarquable que l'absence du carbone. On ne peut présumer que ce dernier ait échappé aux recherches de Klaproth. Ce fer, qui est doux comme le fer météorique, en a la couleur et ne peut constituer un produit de l'art. Par ses propriétés magnétiques il se rapproche plus du fer météorique, d'après M. Seebeck, que les autres masses de fer dont l'origine est douteuse.

On ne connait guère d'autres exemples de fer natif terrestre, et voilà ce qui prouve sa disposition à se charger d'oxigène, lorsqu'il n'en est point empêché par la présence du soufre, de l'arsenic ou d'autres métaux.

343. Le soufre accompagne le fer très-fréquemment sous forme de pyrite magnétique et de pyrite ordinaire.

M. Vauquelin fit connaître un sulfure tout particulier qu'il appela PYRITE ARSENICALE. Il contient outre le soufre, le fer et l'arsenic, une assez grande quantité de silice, qui probablement n'est que mêlée au minérai. Au reste, ces expériences effectuées à une époque où l'art d'analyser les corps était encore dans l'enfance, devraient être répétées.

344. Nous avons déjà fait observer que l'une et l'autre pyrite se décomposent par la calcination à l'air libre.

La décomposition spontanée des pyrites grillées est une des opérations les plus intéressantes. Il est probable que le soufre et le fer s'oxident aux dépens de l'humidité renfermée dans l'air ambiant.

345. Bien qu'on puisse enlever au fer tout le soufre qu'il retient, cependant il est difficile d'en séparer les dernières parties. C'est aussi pour cette raison que la calcination des pyrites donne toujours un peroxide de fer, attendu que le protoxide passe au maximum d'oxidation, avant que tout le soufre ait pu se dégager à l'état de gaz acide sulfureux. Quand on veut le chasser en entier, on doit d'abord réduire le sulfure en très-petits morceaux, et renouveler fréquemment la surface de la masse, afin de multiplier le contact de l'air. Si la chaleur était très-rapide, le sulfure entrerait en fusion; l'oxigène n'agirait alors que sur la surface du bain, au lieu d'être en contact avec les petits morceaux de soufre; ce qui ralentirait l'oxidation du fer et celle du soufre.

346. La possibilité d'extraire des sulfures un fer non rouverin, ne peut être mise en doute; mais les dépenses considérables qu'occasionnerait la multiplicité des grillages, seraient hors de proportion avec le prix du métal. C'est pour cette raison que les pyrites ne sont point classées parmi les minérais de fer. Quand elles les accompagnent, ce qui n'arrive que trop fréquemment, on a recours au grillage. En grande quantité, elles en occasionnent le rebut.

347. Combiné avec l'arsenic, le fer constitue deux espèces de minéraux, qui cependant portent tous les deux le nom de pyrite arsenicale.

L'un de ces corps qu'on trouve souvent cristalisé, a été étudié avec beaucoup de soin; il est composé de manière que la moitié du fer est unie à l'arsenic, et l'autre moitié de fer au soufre: sa formule est ($F\overline{As}^2 + FS^4$); on l'appelle aussi mispickel. Voici le résultat de quatre analyses faites sur ce minéral.

NOMS DES AUTEURS.	ARSENIC.	FER.	SOUFRE.
MM.			
Stromeyer. . .	42,88	36,04	21,08
Chevreuil. . .	43,418	34,938	20,132
Thomson . . .	48,1	36,5	15,4
Karsten. . . .	43,73	35,62	20,65

La deuxième espèce n'a pas encore été trouvée sous forme cristalline. La pyrite arsenicale de Reichenstein, analysée par Klaproth, donna 62 d'arsenic, 38 de fer et seulement une trace de soufre. J'ai trouvé dans un fort beau morceau de la même pyrite : 65,88 d'arsenic, 32,35 de fer et 1, 77 de soufre; cette petite quantité de soufre combinée avec un peu de fer, constitue une pyrite magnétique qui, mélangée au minérai, peut en être séparée par le barreau aimanté. M. Lampadius dit avoir obtenu d'une pyrite arsenicale : 42,1 d'arsenic et 57,9 de fer; ce qui correspondrait à la formule F^2As. La composition du fer arsenical de Reichenstein, peut se représenter par $F\overline{As}^2$, abstraction faite de la pyrite magnétique qu'il renferme. — Il existe encore une analyse de M. Dumesnil, sur une pyrite de Zinwald, qui donna 21,22 de fer, 28,97 d'arsenic et 1, 20 de soufre sur 51,5 parties de minérai. Bien que cette analyse soit reconnue défectueuse, on peut en conclure que la pyrite de Zinwald, appartient à la même espèce que celle de Reichenstein.

348. Les *pyrites arsenicales* ne sont point traitées pour fer, parce qu'il faudrait les griller et les pulvériser d'abord, ce qui ferait naître une nouvelle difficulté; car les *schlichs* se réduisent difficilement dans les hauts fourneaux, étant trop disposés à se convertir en scories: ajoutons qu'il est

presqu'impossible de chasser tout l'arsenic au moyen du grillage, et qu'une faible dose contenue dans le fer, ne serait-ce qu'un à deux pour cent, le rendrait impropre à toute espèce d'usage.

349. Si le minérai ne contient point de soufre, l'arsenic ne se dégage pas entièrement par la sublimation; une partie résiste même à la chaleur de la fusion et ne peut être séparée du fer que par une oxidation simultanée des deux métaux. Le mispickel au contraire, distillé hors du contact de l'air, cède l'arsenic en entier et se convertit en sulfure magnétique artificiel.

350. On compte à Reichenstein, en traitant des minérais très-purs, sur 50 p. % d'arsenic métallique, et en outre sur 25 p. % d'arsenic gris, qui est un mélange du métal réduit avec l'arsenic blanc; cette donnée est assez d'accord avec les résultats des analyses.

351. On ne connait, jusqu'à présent, d'autres combinaisons naturelles du fer métallique avec d'autres corps que celles dont nous venons de parler. Excepté toutefois le tantalite de Kimito, en Finlande. On prétend que le tantale rend le fer dur et aigre.

352. La majeure partie des minérais sont des oxides, soit purs, soit mêlés à des substances étrangères. Le carbonate de protoxide forme aussi un minérai extrêmement abondant.

Ni le protoxide ni l'hydrate de protoxide, ne peuvent être rencontrés dans la nature; mais l'existence d'un composé *d'eau et des deux oxides* paraît assez probable.

Les minérais de fer oxidé non combiné avec des acides ou de la silice, se divisent en deux classes : la première constitue les composés de protoxide et de peroxide, caractérisés par la vertu magnétique qu'ils manifestent avant le grillage, par une raclure noire ou grise, et par la forme octaédrique. La deuxième renferme les minérais qui contiennent

le fer oxidé au summum; ils sont souillés de temps à autre d'un peu de protoxide, qui pourtant n'influe pas sur leur caractère distinctif. Dépourvus de la vertu magnétique, ils ne peuvent manifester une légère action sur l'aiguille aimantée que par la présence du protoxide. Dans le système de cristallisation, ils appartiennent aux formes rhomboïdales, et se distinguent par une raclure rouge, brune ou jaune.

353. La première classe est connue sous le nom DE FER MAGNÉTIQUE. La variété la plus commune se compose, d'après M. Berzélius, d'un atôme d'oxidule et de deux atômes d'oxide; sa formule est $\ddot{F}e + 2\ddot{F}e$. Elle contient 71,785 de fer et 28,215 d'oxigène, ou bien 30,99 parties d'oxidule et 69,01 d'oxide; ce dernier renferme donc trois fois autant d'oxigène que le premier.

La deuxième variété se compose de trois atômes d'oxidule et de deux atômes d'oxide; c'est-à-dire que les deux oxides contiennent des quantités égales d'oxigène, ou bien que l'oxidule renferme une fois et demie autant de fer que l'oxide, sa formule est $(3\ddot{F}e + 2\ddot{F}e)$.

A Capao, dans le Brésil, on a découvert un fer magnétique fortement attirable à l'aimant, et de forme octaédrique; mais sa couleur et sa raclure étaient parfaitement rouges. M. Vauquelin y trouva 28 parties d'oxidule, et 72 d'oxide, il paraît donc que ce minérai constitue un fer magnétique ordinaire, qui doit sa couleur à un mélange accidentel de peroxide.

Un fer magnétique d'une espèce toute particulière a été analysé par Thomson: sa pesanteur spécifique et son aspect, ne différaientpas de ceux du fer magnétique ordinaire; Mais il se dissolvait avec effervescencedans l'acide hydrochlorique. Ce minérai renfermerait, disait-on, 4,2 p. % d'oxide de titane, et 2,4 p. % de silice, et il contiendrait le fer à un degré d'oxidation au-dessous de celui qu'offre l'oxi-

dule pur. M. Thomson croit que ce fer n'est chargé que la moitié de l'oxigène qui existe dans l'oxidule: il est accompagné d'apatite.

354. Il existe très-peu d'analyses de fer magnétique. M. Hisinger trouva dans le fer magnétique de Suède 94,48 parties d'oxide, mélangées avec 1,25 de gangue, 0,16 de magnésie et 2,75 de phosphate de chaux.

M. Gærtner annonce avoir trouvé dans le fer magnétique cristallisé de Pfitsch, en Tyrol, 97,5, d'oxide et 2 de silice et de magnésie. Un fer magnétique de Traversella, en Piémont, lui donna 98,5 d'oxidule, une petite quantité d'oxide, 0,5 de silice, 0,5 de magnésie et une trace de protoxide de manganèse. M. Berthier a fait l'analyse du fer magnétique de la Plata, dont la pesanteur spécifique est de 5,1 et qui par son aspect extérieur, ainsi que par une forte action sur l'aiguille aimantée, ressemble au fer magnétique ordinaire; mais sa raclure est rouge. Il contient 81,6 parties d'oxide et 17 d'oxidule, ainsi que 1,0 de quartz en fragmens. Ce minérai est un mélange de 55 parties de fer magnétique ordinaire et de 43,6 de peroxide.

Le fer magnétique peut quelquefois être combiné avec l'oxide de titane ou bien avec le titanate de fer.

M. Gérold fait mention d'un fer magnétique tiré du Mexique, où il se présente en gisement considérable, et qui, d'une pesanteur de 4,9, est, dit-on, très-riche en cuivre.

355. Pour déterminer les proportions d'oxidule et d'oxide que présentent les fers magnétiques, j'ai analysé un assez grand nombre de ces minérais pris en différens lieux. Voici les résulats de mes expériences.

DÉSIGNATION des FERS MAGNÉTIQUES.	OXIDE DE FER.	OXIDULE.	MÉLANGES ACCIDENTELS.			TOTAL.
			GANGUE.	FER titané.	FER spéculaire.	
Cristallisé sous forme d'octaèdre, de Danemora en Suède.	69,95	29,53	0,15	0,25	»	99,88
Compacte, de Thorsaker en Suède.	66,23	27,65	5,95	»	»	99,83
En pièces séparées, grenues et mélangées intimement avec du fer spéculaire, de Gellivara en Laponie.	69,40	28,25	»	»	1,85	99,50
Dense, en pièces séparées et grenues, d'Arendahl en Norwège.	68,03	29,25	2,45	»	»	99,73
Cristallisé en octaèdres, de Berggiesshübel.	67,95	29,92	1,86	»	»	99,73
Cristallisé en octaèdres, renfermé dans la chlorite, du Tyrol.	67,56	28,66	»	3,31	»	99,53

On voit donc qu'il y a peu de différence entre les compositions des diverses espèces de fers magnétiques, et qu'ils contiennent en général deux atomes d'oxide et un atome d'oxidule. Le fer magnétique de Gellivara est renfermé dans une masse de fer spéculaire, dont on le retire par le barreau aimanté: malgré la présence d'une si grande quantité d'oxide, l'oxidule ne s'en est chargé que dans la proportion que nous venons d'indiquer.

Il est en outre très-remarquable que le fer spéculaire et le fer titané se trouvent à l'état de mélange, dans de superbes cristaux formés par le fer magnétique. La dissolution de ces cristaux dans l'acide hydrochlorique, n'a pas offert une trace d'acide titanique, et tout le contenu de fer

titané, est resté au fond du vase en petites lames d'un éclat métallique parfait.

Le fer spéculaire se conduit de la même manière, voilà ce qui rend compte de la raclure rouge que présente le fer magnétique de Capao (353).

Dans une sous division de la formation du Jura, au nord-ouest de Metz, il existe une variété de fer magnétique très-singulière. Le minérai est bleu verdâtre, fortement attirable à l'aimant; il contient, outre un mélange accidentel d'argile, de carbonate de chaux et de baryte, de l'oxide et de l'oxidule de fer, de l'acide carbonique et de l'acide phosphorique, en proportions telles que quatre atomes de carbonate d'oxidule sont combinés avec quatre atomes de fer magnétique et avec un atome de sous-phosphate d'oxide. Dans 100 parties de ce minérai on trouve:

Oxide.	49,03
Oxidule	35,75
Acide carbonique. . .	11,19
Acide phosphorique. .	4,03
	100,00

D'après cette composition, on pourrait le classer tout aussi bien parmi les carbonates d'oxidule, que parmi les fers magnétiques.

356. Le fer magnétique est communément accompagné de quartz, de grenat, de hornblende, de spath calcaire, de spath fluor et d'asbeste: ces substances en modifient la fusibilité de diverses manières. On le grille presque toujours à cause du sulfure de fer, bien qu'il ne le contienne qu'en petite quantité. Souvent il est accompagné aussi de blende, de galène et de fer arsenical: le titane le rend très-refractaire. La Suède, la Norvège et la Russie sont abondamment pourvues de ce minérai qui donne d'excellent fer.

357. La deuxième classe de fers oxidés naturels, se divise en deux espèces bien distinctes: l'une est anhidre, et l'autre

contient de l'eau à l'état de combinaison. La première, caractérisée par une raclure rouge qui ne change point par la chaleur, n'est attirable à l'aimant, ni avant ni après le calcination. Dans les systèmes orictognostiques, on appelle ces minérais, fer oligiste, fer spéculaire, fer micacé et oxide rouge. Les minérais de la deuxième espèce, ont une raclure brune ou jaune, n'agissent pas non plus sur le barreau aimanté, ni avant ni après le grillage, et acquièrent une couleur rouge par la calcination, parce que l'eau se dégage; on les appelle fer brun, quelquefois aussi fer noir ou fer hydraté.

858. *Le fer spéculaire et l'oxide rouge* le plus pur, ne diffèrent point entre eux sous le rapport de leur composition. La différence qu'ils présentent à l'aspect, peut n'être qu'une suite de leur plus ou moins grande dureté; c'est aussi pour cette raison que l'oxide rouge se dissout facilement dans les acides, qui exercent si peu d'action sur le fer spéculaire. Nous ne nous arrêterons guère à ces sortes de classifications ni aux sous-divisions qui en résultent, d'autant plus qu'il y entre souvent beaucoup d'arbitraire.

L'acide titanique et la silice combinés avec l'oxide rouge n'en altèrent pas le caractère distinctif; mais souillé le plus souvent, par un mélange intime de silicate d'alumine et de carbonate de chaux, il présente une forme terreuse, sans toutefois perdre la couleur rouge. Ces sortes de mélanges, portent le nom de fer argileux rouge. Il a été aussi sous-divisé en un grand nombre de variétés.

Les corps mêlés à l'oxide rouge, ne le sont pas toujours dans un état de ténuité, tel que l'éclat et la compacité du minérai soient altérés, bien qu'il soit rendu intraitable. Dans les formations primitives, il jouit de toutes ses propriétés caractéristiques. Dans les terrains de formations plus récentes, il prend une forme terreuse, et passe à l'état de fer argileux rouge.

359. Ce n'est point par les résultats des analyses qu'on peut savoir si les corps étrangers sont mélangés au minérai. On ne peut en juger que par les phénomènes qui se présentent pendant la dissolution. Au reste il paraît que toutes les substances renfermées dans l'oxide rouge, s'y trouvent toujours à l'état de mélange, la silice et l'oxide de titane exceptés; mais ces derniers y sont en si petites quantités, qu'ils n'altèrent point son éclat ni sa compacité.

En examinant le fer micacé de Suhl, Bucholz a trouvé qu'il constitue l'oxide rouge pur.—Il en est de même de l'eisenrahm de Suhl, ainsi que de l'oxide rouge compacte de Tæschnitz en Thuringue, analysés par le même auteur. M. Drappiez trouva dans l'oxide rouge de Bihain, (duché de Luxembourg):

Peroxide	87,0
Silice	5,0
Alumine	2,0
Oxide de Manganèse	2,5
Perte	3,5
	100,00

La silice et l'alumine étaient probablement mélangées au minérai. — M. d'Aubuisson analysa deux échantillons d'oxide rouge fibreux de Framont, il y trouva :

Peroxide	90	94
Oxide de manganèse	trace	trace.
Silice	2	2
Diminution du poids par la calcination	3	2
Chaux	1	trace.
Perte	4	2
	100	100

La diminution de poids produite par le grillage, paraît provenir d'eau adhérante; quant aux terres, elles n'étaient probablement qu'à l'état de mélange.—Voici trois analyses de M. Berthier.

	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MANGANÈSE.	ARGILE.	CARBONATE DE CHAUX.	CARBONATE DE BARYTE.	EAU ET PERTE.
N° 1. Oxide rouge, de Lavoulte.	93,3	»	3,04	»	»	3,03
N° 2. Oxide rouge, mais plus pur, de Lavoulte.	90,7	»	8,00	»	»	1,03
N° 3. Oxide rouge moins pur, de Lavoulte	66,05	2,50	18,80	4,26	3,51	4,88

Il est évident que les corps étrangers peuvent varier considérablement, parce qu'ils sont à l'état de mélanges accidentels.

360. Le fer spéculaire et l'oxide rouge sont en général imprégnés de quartz, de horstein (petrosilex), de jaspe, de feldspath, ou d'autres fossiles argileux ou quartzeux, dont il est impossible de les séparer par une préparation mécanique, et qui peuvent les rendre extrêmement réfractaires. Les pyrites se rencontrent assez rarement avec l'oxide rouge; mais le traitement de ce minérai devient quelquefois impossible, par suite de la présence du sulfate de baryte. Au reste l'oxide rouge, que l'on traite souvent en Allemagne et en France, donne un fer très-tenace. Les mines de fer oligiste les plus célèbres sont celles de l'île d'Elbe, ouvertes déjà du temps des Romains.

361. *L'hydrate de fer* est le minérai qu'on exploite de préférence, dans une grande partie de l'Allemagne et de la France. Les minéralogistes l'appellent fer brun ou fer hydraté jaune, selon la couleur de sa raclure; c'est un composé chimique d'oxide de fer et d'eau, sans acide et sans silice, à moins que cette dernière n'y soit en si petite quantité qu'elle ne puisse altérer le caractère du minéral.

MM. Hausmann et d'Aubuisson ont les premiers constaté

la composition des fers hydratés; M. Hausmann a montré que le contenu d'eau combinée suit une proportion constante. Leurs expériences vérifiées plus tard ont conduit à la formule $2\ddot{F}e + 3aq$; en sorte que le fer brun le plus pur renferme 85,3 parties de peroxide et 14,7 parties d'eau, ou bien l'oxide contient deux fois autant d'oxigène que l'eau. De plus ou de moins grandes quantités de ce liquide annoncées par des analyses, pourraient souvent provenir d'erreurs commises pendant l'opération. Toutefois il existe des fers bruns qui paraissent contenir tantôt plus, tantôt moins d'eau, surtout lorsqu'ils sont souillés de corps étrangers. Le pyrosidérite en offre un exemple; il est rougeâtre, ce qui le fit classer quelquefois parmi les oxides rouges; cependant la couleur de sa raclure incline au jaune et au brun; il contient beaucoup moins d'eau que la formule atomistique ne l'indique.

A Oberstein il existe un fer brun doué d'un éclat métallique très-prononcé, et d'une couleur rouge brune, il accompagne les agates et contient bien moins de 14 p. % d'eau. On rencontre des hydrates qui renferment 10 et 11 et d'autres enfin 20 p. % de ce liquide. Il s'ensuit que la composition de cette espèce de minérai mériterait encore d'être soumise à de nouvelles recherches. La couleur jaune n'annonce pas toujours un contenu d'eau plus grand, ainsi qu'on le croit généralement; il paraît que cette couleur passe au brun lorsque le minérai devient plus compacte.

362. Le manganèse qui accompagne le fer si fréquemment, se trouve aussi dans les hydrates, quoiqu'en petites quantités; il colore en brun rougeâtre les minérais grillés. Le minérai dit fer noir, n'est autre chose qu'un hydrate chargé de manganèse.

363. Les fers bruns de la dernière formation, connus sous le nom de fer limoneux, contiennent aussi de la silice et une petite quantité d'acide phosphorique. Il est rare

que cet acide se trouve dans les fers bruns des terrains anciens.

364. Quant aux modifications que le fer brun éprouve par la présence des terres mélangées au minérai, elles sont en tous points semblables à celles que subit l'oxide rouge. —Dans les terrains de formations récentes les silicates, surtout le silicate d'alumine, et même le sable, sont quelquefois mêlés à l'oxide si intimement, que son tissu reste parfaitement uniforme; on l'appelle alors fer argileux brun, fer hydrate brun ou jaune, minérai en grains, etc. Mais outre la silice libre, le minérai peut aussi contenir une assez grande quantité de silice combinée.

365. La transition du fer brun au fer argileux est insensible; il en est de même de la transition de ce dernier au fer silicaté.

366. La décomposition des fers spathiques donne naissance à une espèce de fer brun que dans les usines on appelle *mines douces*. Ces fers bruns ne diffèrent des autres que par une certaine quantité d'acide carbonique que retiennent encore la chaux et la baryte.

367. Les orictognostes ont divisé les fers bruns et les fers argileux en une foule de variétés, telles que le pyrosidérite, le lepidokpokite, le stilznosidérite, l'hématite noire et l'hématite brune, le pisinite, le fer lenticulaire, reniforme, etc. Il est inutile de nous arrêter à ces dénominations.

Voici quelques analyses de fers bruns et de fers argileux: il serait intéressant que l'état où la silice se trouve dans le fer eût été mentionné par les auteurs.

ANALYSES DE FERS BRUNS.

NOMS des AUTEURS.	DÉSIGNATION des MINÉRAIS.	OXIDE DE FER.	EAU.	OXIDE DE MANGANÈSE.	SILICE.	ALUMINE	PERTE.
MM.							
d'Aubuisson.	Fer brun fibreux de Bergzabern.	79,00	15,00	2	3	»	1
id.	Fer brun fibreux de Viedessos.	82,00	14,00	2	1	»	1
id.	Fer brun compacte de Bergzabern.	84,00	11,00	1	2	»	2
id.	Fer brun compacte de Vicdessos.	81,00	12,00	»	4	»	4
id.	Fer brun compacte de Voigtsberg.	69,00	13,00	3	10?	3?	2
id.	Fer brun compacte de l'île d'Elbe.	83,00	12,00	trace.	5	»	0
id.	Fer brun compacte des Pyrennées.	81,00	11,00	trace.	2	»	6
Vauquelin.	Compacte du département du Bas-Rhin.	80,25	15,00	»	3,75	»	2
Ullmann.	Stilpnosidérite de Westerwald.	80,50	16,00	trace.	2,25	»	1,25
Brand.	Lépidokrokite du Sayner.	88,00	10,75	0,50	0,50	»	0,25
Proust.	Ocre jaune d'Artana.	78,57	21,43	»	»	»	0
Karsten.	Fer brun compacte de Huth, dans le Hachenburg; la silice était combinée avec l'oxide.	86,125	11,425	0,75	1,7	»	0

ANALYSES DE FERS BRUNS DITS MINES DOUCES.

NOMS des AUTEURS.	LIEUX d'où proviennent LES MINÉRAIS.	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MANGANÈSE.	BARYTE.	CHAUX.	QUARTZ et silice EN GÉLATINE.	EAU et ACIDE CARBONIQUE.
MM.							
Berthier.	Allevard, dépt de l'Isère.	79,6	3,5	1,0	»	4,8	11,1
Id.	*Id.*	80,0	2,2	1,4	»	4,4	12,0
Id.	Départemt de L'Aude.	82,7	3,6	»	0 7	3,2	9,7
Id.	De Styrie.	66,0	5,0	2,0	3,0	10,0	16,0

SUITE DES ANALYSES DE FERS BRUNS DITS MINES DOUCES.

NOMS des AUTEURS.	LIEUX d'où proviennent LES MINÉRAIS.	OXIDE DE FER.	OXIDE DE MANGANÈSE.	CARBONATE DE CHAUX.	CARBONATE DE BARYTE.	QUARTZ et silice EN GÉLATINE.	EAU.
MM.							
Karsten.	De Styrie.	78,50	1,95	5,08	4,50	0,85	9,12
Id.	De Huttenberg en Carinthie.	77,54	2,70	0,45	1,25	3,55	14,51
Bucholtz.	De Schmalkalden.	73,75	10,50	2,75	»	»	13,00

On voit par les résultats de ces analyses qu'il y a peu de différence entre la composition des fers bruns ordinaires, et celle des fers bruns dits mines douces. Cependant ces derniers se distinguent des premiers par un contenu de carbonate de baryte et de carbonate de chaux; de plus ils renferment presque toujours, ainsi que les fers spathiques qui leur ont donné naissance, une assez grande dose d'oxidule de manganèse qui les rend très-faciles à traiter.

ANALYSES DE FERS ARGILEUX BRUNS.

NOMS des AUTEURS.	DÉSIGNATION des MINÉRAIS.	OXIDE de fer.	EAU.	OXIDE de manganèse	SILICE.	ALUMINE.	PERTE.
MM.							
Mœllinghoff.	Fer brun de Mardorf.	60,0	15,0	»	12,0	13,0	0,0
Vauquelin.	*id.* de Penne.	48,0	6,0	»	15,0	31,0	0,0
Klaproth.	Minérais en grains de Hœgau.	53,0	14,5	1,0	23,0	6,5	2,0
d'Aubuisson.	Minérais en grains du Berri.	70,0	15,0	trace	6,0	7,0	2,0
Klaproth.	Terres d'ombre de Chipre.	48,0	14,0	20,0	13,0	5,0	0,0
Berthier.	Fer brun d'Argues, département du Lot.	80,5	15,0	0,5	5,0	1,0	0,0
id.	*id.*	80,5	14,5	trace	5,0	1,0	0,0
id.	*id.*	71,5	15,5	7,0	5,5	1,5	0,0
id.	*id.*	74,7	11,8	trace	13,0	»	0,5
id.	Minérais en grains.	61,0	15,0	trace	12,0	12,5	0,0
id.	*id.*	37,6	15,5	trace	25,0	21,5	0,4
id.	*id.*	54,0	15,4	trace	12,5	17,0	1,6
id.	*id.*	60,0	12,0	1,2	25,0	1,8	0,0
id.	*id.*	50,0	12,8	trace	17,0	20,0	0,2

Un fer lenticulaire que j'ai analysé et qui, malgré sa couleur verte, doit être classé parmi les fers argileux, contenait, sur 100 parties, 21,40 d'argile siliceux, 11,70 de carbonate de chaux, 1,25 de carbonate de magnésie, 49,52 d'oxide de fer, 5,23 de carbonate d'oxidule, 0,55 d'acide phosphorique, 10,35 d'eau et un peu de carbone. Il est probable que la coloration était due à une petite quantité de silicate d'oxidule. On voit au reste que le contenu de terre est en général très-variable dans le fer argileux, comme il était aisé de le prévoir.

368. La composition des fers limoneux, le plus jeune de tous les minérais, se formant pour ainsi dire sous nos yeux, mérite une considération particulière. Ils contiennent du peroxide de fer, du protoxide, de l'oxide de manganèse, de la silice, de l'acide phosphorique et de l'eau : ces corps sont combinés ensemble ou mélangés intimement, en toutes sortes de proportions; mais toujours de manière que le caractère du fer hydraté reste prédominant. Ils renferment aussi du bitume provenant sans doute de la décomposition de matières animales ou végétales, ainsi que du chrome, quand ils sont dans le voisinage d'un gisement de ce métal.

La quantité d'eau qui est combinée et celle qui est mélangée avec le minérai, sont très-variables.

L'oxide de manganèse contenu dans le fer limoneux s'y trouve toujours à l'état de mélange; il n'est combiné, ni avec l'acide phosphorique, ni avec la silice; car la dissolution faite dans l'acide hydrochlorique laisse toujours dégager du chlore.

La silice que donne les fers limoneux ne gélatine point par l'action des acides; mais une partie de cette terre se précipite en poudre impalpable et si tenue, qu'on ne peut supposer qu'elle se soit trouvée à l'état de mélange.

L'acide phosphorique ainsi que le protoxide de fer sont toujours combinés avec le peroxide de fer.

En général on peut regarder les fers limoneux comme des mélanges intimes d'hydrate de fer, *d'oxidum ferroso-ferricum*, de silicate d'oxide, d'oxide de manganèse, et de sous-phosphate de fer, souillés ensuite par un mélange mécanique de sable, d'argile, de terre calcaire, de bitume et de fer chromé.

Un grand nombre de ces minérais sont fortement attirables à l'aimant après la calcination.

Une série d'analyses va montrer leurs compositions :

NUMÉROS.	NOMS des AUTEURS.	DÉSIGNATION DES LIEUX d'où proviennent les minérais ET OBSERVATIONS PARTICULIÈRES.	OXIDE de fer.	OXIDUL.
	MM.			
1	Pfaff.	Minérai de Schleswig; la composition du n° 1 et du n° 2, est tout-à-fait différente de celle des autres fers limoneux; ces analyses devraient donc être répétées.	»	72,94
2	*id.*	*id.*	»	79,40
3	*id.*	Minérai de Schleswig.	62,92	»
4	Morell.	*id.* de Smaland en Suède.	62,56	»
5	Karsten.	*id.* de New-Iork.	66,33	3,60
6	Klaproth.	*id.* de New-Mark.	67,5	»
7	Karsten.	*id.* de la Pomméranie.	56,05	0,40
8	*id.*	*id.* de Munsterberg.	51,29	7,50
9	*id.*	*id.* de Kuhblank.	62,21	3,70
10	*id.*	*id.* de Darss.	61,35	1,70
11	*id.*	*id.* de Damerow.	23,24	»
12	*id.*	*id.* de Finow-Canal.	59,46	0,45
13	*id.*	*id.* de Grossgars.	46,74	0,10
14	*id.*	*id.* de Friedrichswalde.	43,00	0,45
15	*id.*	*id.* de New-Mark.	57,50	2,25
16	*id.*	*id.* de Briesen.	48,50	10,80
17	*id.*	*id.* de Bouschwiesen.	50,50	3,90
18	*id.*	*id.* de Schlichow.	53,00	2,2
19	*id.*	*id.* de Comtendorf.	47,55	2,70
20	*id.*	*id.* de Drischnitz.	44,4	9,5
21	*id.*	*id.* de Papitz.	44,55	2,40
22	*id.*	*id.* de Ruben.	39,85	7,20
23	*id.*	*id.* de Casel.	55,65	2,80
24	*id.*	*id.* de Werben.	49,60	»

DE FERS LIMONEUX.

OXIDE de manganèse.	ACIDE phosphorique.	EAU.	SILICE.	MAGNÉSIE.	CARBONATE de chaux.	BITUME.	SABLE.	ALUMINE.	NUMEROS.
6,00	6,64	0,40	14,40	»	»	»	»	0,80	1
3,60	4,18	0,10	11,50	»	»	»	»	4,34	2
4,18	3,44	18,40	8,12	»	»	»	»	4,60	3
2,60	0,68	7,50	20,40	5,80	»	»	»	»	4
0,75	0,12	26,30	2,80	»	»	0,10	»	»	5
1,5	8,0	23,0	»	»	»	»	»	»	6
2,60	1,75	22,60	12,20	»	»	0,10	4,30	»	7
3,20	3,91	29,10	3,89	»	»	0,10	1,01	»	8
1,90	4,04	21,20	4,50	»	»	0,10	2,35	»	9
2,00	4,44	21,31	5,70	»	»	0,10	3,40	»	10
20,40	2,01	21,85	7,75	»	»	0,10	24,65	»	11
2,10	3,64	17,75	3,90	»	»	0,10	12,60	»	12
0,60	4,06	16,80	4,50	»	»	0,10	27,10	»	13
1,80	0,80	22,05	12,60	»	»	0,10	19,20	»	14
0,25	3,90	19,70	4,95	»	1,30	0,10	10,05	»	15
1,40	3,20	29,40	2,50	»	0,80	0,10	8,30	»	16
0,60	2,80	16,20	6,20	»	0,95	0,10	18,75	»	17
0,8	2,8	16,7	8,6	»	1,10	0,10	14,7	»	18
0,50	2,50	16,00	7,13	»	0,75	0,10	22,75	»	19
1,1	3,1	17,2	6,8	»	1,7	0,1	16,1	»	20
1,50	3,70	20,50	6,95	»	1,40	0,1	18,90	»	21
1,75	3,40	18,20	7,75	»	1,00	0,1	20,75	»	22
1,25	2,50	17,60	7,15	»	1,60	0,1	11,35	»	23
1,1	5,6	23,00	5,9	»	1,4	0,1	13,3	»	24

Ainsi la quantité d'acide phosphorique renfermé dans les fers limoneux est très-variable; il en est de même du contenu de silice; quant au bitume, il n'a été dosé que par estimation.

Outre la silice combinée, ou du moins intimement mélangée avec les divers composans du fer limoneux, il s'y trouve une grande quantité de sable qui adhère à la surface, ou qui remplit les nombreuses cavités de ce minéral dont la texture est très-spongieuse.

M. Vauquelin a fait voir que les fers limoneux contiennent aussi du carbonate de magnésie outre le carbonate de chaux.

Puisque la formation de ce minérai est si récente qu'elle s'effectue journellement, il est clair que la composition du fer limoneux doit être dépendante de mille circonstances accidentelles, et surtout de la nature du terrain où il prend naissance.

Ces minérais se traitent avec la plus grande facilité : ils appartiennent à la classe de ceux qui sont à la fois très-fusibles et facilement réductibles. Ils donnent une fonte bien liquide qui se congèle lentement; elle est très-propre à la fabrication des objets moulés qui ne doivent pas offrir une grande résistance; renfermant tout le phosphore qui était contenu dans le minérai, elle est quelquefois très-fragile. On l'emploie fréquemment pour la sablerie, pour la confection de poêles, de vases culinaires, etc. Elle convient pour ces objets, parce qu'elle remplit bien les moules, et qu'elle est susceptible de recevoir des empreintes délicates. Le fer qu'elle donne est le plus souvent cassant à froid; à chaud, il est très-tendre, et se travaille facilement; c'est pour cette raison que les affineurs aiment à traiter cette espèce de fonte pour la convertir en fer ductile. Mais le propriétaire préfère l'employer pour la sablerie, lorsqu'il trouve le débit des objets coulés. Il existe toute-

fois des fers limoneux qui, ne contenant qu'une petite quantité de phosphore, produisent un fer d'une excellente qualité.

369. Nous n'avons considéré jusqu'à présent que les oxides anhydres et les oxides hydratés, combinés accidentellement avec de petites quantités d'autres substances, telles que l'acide titanique, la silice et l'acide phosphorique. Il nous reste encore à examiner les oxides combinés avec les acides, ou bien avec des corps qui jouent le rôle d'acide; et parmi ces espèces, le carbonate d'oxidule et les silicates constituent seuls des minérais exploitables : toutefois il existe d'autres corps ferrifères qui doivent être connus, les uns parce qu'ils servent de fondans, les autres parce qu'ils faut les éviter dans la pratique.

370. Les composés que l'oxide de fer forme avec l'oxide *de titane* ou *l'acide titanique*, accompagnent fréquemment les minérais de fer. Quoique leur conduite, à l'égard de l'aiguille aimantée, puisse s'expliquer par une simple variation dans le rapport des deux composans, il n'est pourtant pas invraisemblable que le fer s'y trouve quelquefois au summum d'oxidation; la forme rhomboïdale des cristaux confirme cette assertion. Dans d'autres espèces de fer titané, on a trouvé de l'oxidule pur, dans d'autres, enfin, de *l'oxidum ferroso-ferricum.*

On doit présumer, d'après ce que nous venons de dire, qu'il existe de grandes différences entre les résultats des diverses analyses du fer titané. Ces différences peuvent aussi provenir en partie de l'imperfection des anciens procédés de décomposition. Cependant il est très-probable que, faute de connaissances assez positives sur cet objet, on a donné le même nom à des composés de nature très-différente.

NUMÉROS.	NOMS des AUTEURS.	DÉSIGNATION DES MINÉRAIS ET LIEUX D'OÙ ILS PROVIENNENT.
	MM.	
1	Rose.	Fer titanifère d'Egersund : c'est le véritable ménakanite de Werner, très-attirable à l'aimant.
2	*id.*	*id.* d'Iserin, très-attirable à l'aimant.
3	Berthier.	*id.* du Brésil, fortement attirable à l'aimant.
4	*id.*	*id.* en grains, très-légèrement attirable à l'aimant, de l'île des Siécles.
5	Lowitz.	*id.* de Metschnikow dans l'Ural, dépourvu de vertu magnétique. Pes. spéc. de 4,673.
6	Vauquelin.	*id.* de Bodenmais, non magnétique, d'une pesanteur spécifique de 3,7 (?).
7	Collet Descostils.	*id.* de St.-Ouay, non magnétique.
8	John.	*id.* de Wildenow, près de Schwarzenberg en Saxe, non magnétique.
9	Thomson.	*id.* *id.* *id.*
10	Klaproth.	Ménakanite de Cornouailles.
11	*id.*	Fer titanifère d'Aschaffenburg, non magnétique, d'une pesanteur spécifique de 4,74.
12	Pfaff.	*id.* d'Arendahl en Norwège, non magnétique. Pesanteur spécifique, 4,395.
13	Lassaigne.	*id.* Arénacé de Madagascar, d'une pesanteur spécifique de 4,694.
14	Klaproth.	*id.* Arénacé magnétique de la côte de Finland, d'une pesanteur spécifique de 4,545.
15	Berthier.	Fer magnétique arénacé titanifère du Puy en Velay.
16	Cordier.	*id.* arénacé, titanifère.
17	*id.*	*id.* *id.* de Ténériffe.
18	*id*	*id.* *id.* de Niédermennich.
19	Collet Descostils.	*id.* titanifère, de St.-Ouay.

DE FERS TITANIFÈRES.

ACIDE titanique.	PÉROXIDE de fer.	OXIDUM, ferroso-ferricum.	PROTOXIDE de fer.	OXIDE de manganèse.	OBSERVATIONS.	NUMÉROS.
50,12	»	»	49,88	»		1
53,5	»	»	47,22	»	Il y a peu de différence pour la composition entre les nos 1 et 2, parce que le contenu d'oxidule varie avec celui de l'acide titanique.	2
41,0	»	56,2	»	trace.	Contient en outre 2,5 de silice ou de quartz.	3
58,7	»	»	36,0	5,3		4
53,0	47,0	»	»	»		5
49,0	49,0	»	»	2,0		6
54,0	44 ?	»	»	1,5		7
65,0	»	»	32,5	1,5	Contient en outre 1 p. % d'un corps étranger et inconnu.	8
48,0	48,0	»	»	»	Contient en outre 4 p. % d'uran.	9
45,25	»	»	51,0	0,25	Renferme 3,5 p. % de silice.	10
22,0	»	78 ?	»	»		11
12,28	79,25	»	»	6,46		12
22,0	45,0	75,0	30,0	0,6	Contenant encore 1 p. % de silice, 0,8 d'alumine et 0,5 d'oxidule de chrome.	13
14,0	85,5	»	»	0,5		14
10,0	»	87,0	»	3,0		15
12,6	»	82,0	»	4,5	Contenant encore 0,6 d'alumine.	16
14,8	»	79,2	»	1,6	Contenant encore 0,8 d'alumine.	17
15,9	»	79,0	»	2,6	Contenant encore 1,0 d'alumine.	18
8,0	»	86,0	»	2,0	Contient encore 1 p. % d'alum.	19

Le minéral appelé crightonite par les oryctognostes, est aussi un composé d'oxidule de fer et d'acide titanique; il se présente en cristaux brillans, gris noirâtre.

371. On ne connaît point de minérais de fer traités en grand et contenant du tungstène, ou bien du tungstate de chaux. Voici du reste la composition du tungstate naturel: protoxide de fer 18,32, acide tungstique 78,775, protoxide de manganèse 6,22, silice 1,25. M. Vauquelin y trouva: protoxide de fer 13,8, acide tungstique 73,2, acide de manganèse 13.

372. Le fer chromé est un composé de fer oxidé et d'oxidule de chrome: on ne connaît pas au juste le degré d'oxidation du fer; la forme cristalline de ce minéral y ferait supposer la présence de l'oxidule; tandis que par la dissolution dans les acides, on est tenté d'y admettre le peroxide. Il est assez probable que certains fers chromés contiennent de l'oxidule, d'autres du peroxide et d'autres encore de *l'oxidum ferroso-ferricum*. Dans les minérais chromifères une partie de l'oxidule de chrome est toujours unie à l'alumine. Le fer chromé accompagne fréquemment les fers argileux, surtout les carbonates argileux ou sphérosidérites; car la fonte obtenue de ces minérais contient fréquemment une petite quantité de chrome.

ANALYSES DE FER CHROMÉ.

NUMÉROS.	NOMS des AUTEURS.	LIEUX d'où proviennent LES MINÉRAIS.	OXIDULE de chrome.	PEROXIDE de fer.	ALUMINE.	SILICE.	MANGANÈSE.
	MM.						
1	Klaproth.	Grusengebirge, près de Krieglach, en Styrie.	55,5	33,0	6,0	2,0	»
2	Laugier.	Chaine de l'Ural.	53,0	34,0	11,0	1,0	1,0
3	Berthier.	Baltimore.	51,6	35,0	10,0	2,0	»
4	*id.*	Chestercounty, en Pensilvanie.	51,6	37,2	9,7	2,9	»
5	Seybert.	*id.*	51,562	35,14	9,723	2,901	trace
6	*id.*	Baltimore.	39,514	36,004	13,002	10,596	»
7	Berthier.	Ile des Vaches, près de S^{t}-Domingue, cristallisé en octaèdres.	36,0	37,0	21,5	5,0	»
8	Vauquelin.	Bastide, dép^{t} du Var.	43,0	34,7	20,3	2,0	»
9	Tassaert.	*id.*	63,6	36,0	»	»	»
10	Bergemann.	Baumgarten, en Silésie, pesanteur spécique 4,50.	32,35	41,0	16,0	8,0	»
11	*id.*	*id.* pesanteur spécifique 3,7 et non magnétique.	25,0	37,25	23,5	7,5	4,25

373. Une série de corps parfaitement caractérisés, très-répandus dans la nature, constituant la majeure partie des roches dont se compose l'enveloppe extérieure du globe, ce sont *les silicates* dont le plus grand nombre est ferrifère. Cependant il en existe peu qui puissent servir de minérais, parce qu'ils sont en général pauvres; mais on les utilise souvent pour fondans, surtout lorsqu'ils accompagnent le fer magnétique: tout en accélérant la fusion, ils offrent l'avantage d'augmenter la masse du produit. Le silicate de fer uni au fer argileux, rend ce dernier plus compacte et lui donne un aspect pierreux.

374. Le silicate de fer ou bien le fer siliceux, diffère

du fer argileux contenant des silicates, en ce sens que le premier se compose d'oxide de fer uni à la silice et que les autres corps sont mêlés accidentellement avec le minérai; tandis que dans le fer argileux, la majeure partie du fer est hydratée et le silicate de fer ne s'y trouve qu'à l'état de mélange. Il est probable que par la suite on rangera beaucoup de fers dits argileux, dans la classe des fers siliceux, quand on connaîtra mieux leurs compositions.

375. Le fer siliceux peut contenir de l'oxidule ou du peroxide de fer: dans l'un des cas il a une couleur bleue ou verdâtre plus ou moins foncée, et dans l'autre, une couleur rouge ou jaunâtre; il paraît que le vert et le jaune sont dus à la présence de l'eau. Il existe dans la nature des sous-silicates des silicates neutres, des bisilicates, et peut-être trouvera-t-on plus tard des trisilicates.

Les silicates d'oxidule ne sont magnétiques qu'à l'état de sous-silicates, et les silicates d'oxide ne le sont jamais.

On distingue facilement le fer siliceux du fer argileux, en les traitant par les acides: le fer argileux se dissout facilement dans l'acide nitrique, et laisse tout son contenu de silice sous forme d'une *poudre incohérante et grossière;* le fer siliceux, au contraire, se dissout avec peine, et seulement dans le cas où il constitue un sous-silicate; la silice se dépose alors au fond du vase *en gélatine,* et une très-petite quantité passe dans la dissolution.

376. Parmi les silicates d'oxidule, on peut compter entre autres:

1° Le minérai bleu du cap de Bonne-Espérance, analysé par Klaproth: il contient 40 parties d'oxidule de fer, 50 de silice, 3 d'eau, 5 de soude et 1,5 de chaux.

2° Le chamoisite analysé par M. Berthier: on le traite aux forges d'Ardon, il rend 43 p. % de fer cru, il est vert, très-fusible, magnétique avant et après le grillage, contient 60,3 parties d'oxidule de fer, 14,3 de silice, 7,8 d'alumine et 17,4 d'eau; il donne d'excellent fer.

3° Le sideroschisolite du Brésil qui, analysé par M. Wernekink, contient 75,5 parties d'oxidule, 16,3 de silice, 4,1 d'alumine et 7,3 d'eau.

4° L'hisingérite de Gillinga en Suède, qui renferme 47,8 parties d'oxidule de fer, 27,5 de silice, 5,5 d'alumine, 0,97 d'oxidule de manganèse et 11,75 d'eau.

5° Le chlorite qui a donné à M. Vauquelin 43 parties d'oxidule de fer, 26 de silice, 18,5 d'alumine, 8 de magnésie, 2 de carbonate de potasse et 2 d'eau; on peut le considérer comme un minérai assez riche.

6° Le Pistacite qui contient 25 p. % d'oxidule de fer; tous les amphiboles et tous les pyroxènes, les liévrites, les ilvaites, les hedenbergites, les pyrosmalites, des grenats et ceux des basaltes qui sont chargés de beaucoup d'oxidule de fer, etc., etc. Ces substances sont quelquefois employées avec avantage pour fondans. Plusieurs espèces de grenats contiennent 25,18 jusqu'à 37 p. % d'oxidule de fer. M. Hisinger trouva dans le grenat de Fahlun 37,68 parties d'oxidule, 39,66 de silice, 19,66 d'alumine et 1,70 d'oxidule de manganèse.

377. Parmi les silicates d'oxide combinés ou non avec l'eau, on peut ranger:

1° Un demi-opal de Telkebania, analysé par M. Klaproth, et composé de 47 parties d'oxide de fer, de 43,5 de silice et de 7,5 d'eau.

2° Le fer siliceux de Kupferrath, près de Düren; M. John analysa deux échantillons de ce minérai: le premier qui était brun rouge, lui donna 52,5 parties d'oxide de fer, 12,5 de silice, 3,5 d'alumine, 3,75 d'oxide de manganèse, 1 de chaux et 26 d'eau; le deuxième dont la couleur était blanche, renfermait 37 parties d'oxide de fer, 26,5 de silice, 6,5 d'alumine, 3,75 de manganèse, 1 de chaux et 22 d'eau. Ce minérai est traité à Lendersdorf.

3° Les jaspes, le kœlreutérite qui donna à M. Doberei-

ner 61 parties d'oxide de fer, 35 de silice, 2 d'oxide de manganèse et 2 d'alumine. — Le Cronstedtit de Przibram, en Bohême, renfermant 58,853 parties d'oxide de fer, 22,452 de silice, 15,078 de magnésie, 2,888 d'oxide de manganèse et 10,700 d'eau. — Tous les grenats enfin qui contiennent du silicate d'oxide.

Klaproth a trouvé dans le grenat rouge de Grœnland 29,5 parties d'oxide de fer, 43 de silice, 15,5 d'alumine, 8,5 de magnésie, 1,75 de chaux et 0,5 de manganèse. Parmi les grenats examinés par M. Wachtmüster, il en est plusieurs dont le fer est oxidé au summum; le grenat de Hesselkulla contient 28,525 parties de peroxide, 37,993 de silice, 30,74 de chaux, 2,712 d'alumine et 0,615 d'oxide de manganèse.

Dans la principauté de Henneberg, aux environs de Suhl, on traite pour fer un grenat d'une couleur brune rouge et d'une forme très-régulière; il renferme, d'après mes analyses, 26,9 parties d'oxide de fer, 37,4 de silice, 33,2 de chaux et 2,5 d'oxide de manganèse: ce minérai est pauvre, mais il donne de bon fer. En général on mêle les grenats au fer magnétique pour les traiter ensemble. Le chloropal de Hongrie composé de 33 parties de fer oxidé, de 46 de silice, de 2 de manganèse et de 1 d'alumine, appartient probablement à la classe des silicates qui contiennent le fer à l'état d'oxidule, puisqu'il est vert et attirable à l'aimant.

378. Tous les fers siliceux qui contiennent des silicates terreux, sont fusibles par eux-mêmes; quelquefois on peut en améliorer le traitement, en leur ajoutant un flux convenable. Les fers siliceux purs, au contraire, se réduiraient très-mal sans aucune addition; les laitiers retiendraient la dose d'oxidule nécessaire pour constituer des trisilicates, la fonte serait blanche et le laitier aurait une couleur noire. Il est essentiel que la grande fusibilité de ces miné-

rais soit diminuée par des additions de pierres calcaires, et dans ces cas la marne ou la pierre à chaux souillée de terres, convient mieux que le carbonate de chaux pur.

379. Combiné avec *l'acide carbonique*, le fer se présente oxidé au minimum dans la nature. On ne connaît ni carbonate d'oxide, ni même de sous-carbonate d'oxidule, à moins qu'on ne veuille considérer ainsi des minérais à demi décomposés, passant à l'état de fer brun, ou de fer argileux brun.

Il existe des carbonates d'oxidule qui sont mélangés avec des carbonates terreux de la même manière que les fers bruns, ce qui les fit comprendre long-temps dans la classe des fers argileux. Maitenant on les désigne sous le nom de *carbonates argileux* ou de *sphérosidérites*. Le carbonate de fer non mélangé de silicates, mais combiné souvent avec des carbonates terreux, constitue *le fer spathique*. Ce nom n'est relatif qu'à la forme extérieure que le minérai montre le plus souvent, bien qu'il ne l'affecte pas toujours. Le fer spathique et le carbonate argileux, ont une raclure blanche ou grise, et ne sont pas magnétiques, mais ils le deviennent fortement par le grillage; leur couleur passe alors au noirâtre tirant sur le brun ou sur le rouge. Si les minérais crus sont rougeâtres, on peut en conclure qu'ils ont déjà éprouvé une première décomposition.

380. Quand on calcine le fer spathique, le protoxide de fer décompose une partie de l'acide carbonique, et s'empare d'une plus grande quantité d'oxigène. Il se dégage alors du gaz oxide de carbone. M. Dobereiner croit devoir conclure de ses expériences que le gaz fourni se compose en général de 4 volumes d'acide carbonique et d'un volume d'oxide de carbone, et que le fer oxidé se compose ensuite d'un atôme de peroxide et d'un atôme d'oxidule. Mes expériences m'ont conduit à des résultats tout autres; le volume de l'acide carbonique était au volume du gaz oxide de carbone,

comme 6,5 est à 1. — Au reste on ne peut guère juger du degré d'oxidation du fer par les gaz qui se dégagent, parce que le minérai n'est jamais parfaitement pur.

381. Dans le fer spathique, le carbonate d'oxidule est toujours combiné avec des carbonates étrangers, formés par la magnésie, la chaux l'oxidule de manganèse et même l'oxide de zinc. Ce dernier y paraît assez rare; mais le carbonate d'oxidule de manganèse n'y manque presque jamais. Quelquefois le carbonate de chaux et le carbonate de magnésie se remplacent, quelquefois aussi leur présence est simultanée. Aucun minérai n'a été plus souvent analysé que le fer spathique. Il est intéressant pour les praticiens d'en connaître les parties constituantes.

ANALYSES DE FER SPATHIQUE.

NUMÉROS.	NOMS des AUTEURS.	DÉSIGNATION DES MINÉRAIS et lieux d'où ils proviennent.	OXIDULE de fer.	OXIDULE de manganèse.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE carbonique.	GANGUE.
	MM.							
1	Klaproth.	Jaune isabelle de Bankerode, dans le Halberstadt.	57,5	3,5	1,25	»	36	»
2	*id.*	Rouge brunâtre de Kemmlas.	58	4,25	0,50	0,75	35	»
3	Bucholz.	Noir brunâtre de Neuendorf, près de Harzgerode.	55	10	»	»	35	»
4	Stromeyer.	*Id.* de Steinheim, près de Hanau.	59,628	1,894	0,201	0,148	38,035	»
5	*id.*	Jaune pâle de Stolberg.	48,196	10,134	0,672	1,841	38,224	»
6	Berthier.	Jaune clair d'Allevard.	42,8	»	»	15,4	41,8	»
7	*id.*	*id.* *id.*	43,0	11,0	»	2,3	38,0	5,7
8	*id.*	*id.* d'Autun.	45,2	0,6	»	12,2	40,4	»
9	*id.*	*id.* de S^{t}-Georges de Huntière en Savoye.	50,5	8,0	1,7	0,7	38,1	1
10	Karsten.	Blanc de Hohegrethe, dans le Hachenburg.	50,410	7,515	»	2,350	38,635	0,320
11	*id.*	*Id.* d'un grain fin de Styrie.	50,23	2,54	0,83	1,60	34,62	9,73
12	*id.*	Noir de Babkowski, en Silésie.	57,91	1,51	0,59	trace.	36,61	0,60
13	*id.*	Jaune clair de Siégen.	50,72	7,64	0,4	1,48	38,90	0,48
14	*id.*	*id.* *id.*	47,20	8,34	0,63	3,75	38,85	0,95
15	*id.*	Blanc de Hahlberg, dans le Siégen.	47,96	9,50	»	3,12	39,19	»
16	*id.*	Brun rougeâtre de Siégen.	45,848	8,000	0,460	2,000	36,060	0,660

Le n° 2 contient probablement un peu d'oxide rouge. — Le n° 5 renferme en outre 0,2488 d'eau. — Le n° 11 est un peu réfractaire, parce qu'il est mélangé avec 7,5 parties de silice et 2,23 d'alumine. — Le n° 12 est mélangé avec 1,92 p. % de carbone. — Avec le n° 15 on fait l'excellent acier de Müsen. — Le n° 16 contient en outre 6,636 p. % d'oxide rouge, renfermé entre les lames de fer spathique.

382. Il est possible que le contenu d'oxide de zinc ait quelquefois échappé aux recherches des chimistes, parce-qu'il se précipite en même temps que l'oxide de fer, et qu'on les sépare difficilement. Les minérais de Stahlberg dégagent par leur traitement, du zinc qui se dépose aux gueulards des fourneaux. M. Maironi Daponté a trouvé dans le fer spathique d'Ortasolo 0,814 p. % d'oxide de zinc et 0,03 p. % dans le fer spathique de Manina.

383. Il résulte des analyses précitées, que le fer spathique est un minérai très-pur, et que parmi les corps étrangers qu'il renferme, c'est le carbonate d'oxidule de manganèse qui domine le plus souvent. C'est pour cette raison qu'il est aussi très-facilement réductible et disposé à donner de la fonte blanche, sans que les laitiers soient colorés en noir; parce que la gangue quartzeuse suffit presque toujours pour saturer les bases, et pour former avec l'oxidule de manganèse des silicates ou laitiers très-fusibles. Ces minérais deviennent plus réfractaires quand la magnésie domine sur le manganèse et les autres bases; dans ce cas on les mêle avec des fondans et on les traite pour fonte grise. M. Collet Descostils a prouvé que les fers spathiques soumis long-temps à l'influence de l'air, abandonnent une partie de leur carbonate de magnésie qui est enlevée par l'humidité de l'atmosphère.

384. Exposés à l'air, les fers spathiques se décomposent et deviennent bruns rougeâtres. Ils sont plus ou moins disposés à subir cette altération, qui est hâtée par les corps étrangers contenus dans le minérai et surtout par l'humidité. Après quelques années de séjour à l'air, la couleur claire et blanchâtre a disparu entièrement. Ils portent alors le nom de *mines douces* ou *de fers bruns*. La décomposition commence à la surface et pénètre peu à peu dans l'intérieur: elle influe sur la dureté qui est bien moins forte dans les minérais altérés que dans les autres.

Le grillage présente aussi un moyen d'attendrir le fer spathique, et de changer sa couleur en brun de chocolat; mais il existe une grande différence entre les minérais grillés et ceux qui ont éprouvé à l'air une décomposition spontanée: les premiers ont perdu leur acide carbonique en entier et ont passé au degré d'oxidation du *fer magnétique;* tandis que les derniers absorbant de l'eau et retenant quelquefois une petite partie d'acide carbonique, se composent tantôt de protocarbonate et d'hydrate de fer, tantôt *d'oxidum ferroso-ferricum* combiné avec l'hydrate de fer, tantôt enfin d'hydrate pur, selon le temps qu'ils ont été soumis à l'influence de l'atmosphère. Sans la présence de l'eau, le fer spathique ne change point de nature; il en est de même, lorsqu'on le plonge entièrement dans ce liquide: sa décomposition est donc une suite de l'action simultanée de l'eau et de l'air atmosphérique.

On ne sait pas encore si, par le séjour à l'air, une portion de l'acide carbonique de ces minérais se trouve décomposée en oxigène et en gaz oxide de carbone; ou si, comme il est assez probable, le protoxide absorbant l'oxigène de l'air, laisse dégager une partie de l'acide carbonique, et se combine avec de l'eau. Une chose certaine, c'est le changement du protoxide en peroxide et en hydrate; mais les carbonates terreux ne sont pas décomposés.

385. Le fer carbonaté argileux subit à l'air les mêmes changemens que les fers spathiques, et ces changemens deviennent plus prompts par la présence des matières étrangères auxquelles il est mêlé si intimement, que sa texture est homogène. Ces matières ne sont le plus souvent que de la silice et de l'alumine ou du silicate d'alumine avec excès de silice, combiné, quoique rarement, avec du silicate d'oxide de fer. Les fers carbonatés argileux, peuvent contenir en outre du phosphate d'oxide de fer, du phosphate de chaux, du soufre, du fer chromé et du fer titané. Ils se

conduisent dans les hauts fourneaux comme les fers spathiques surchargés de carbonates terreux. Il arrive même qu'ils sont si appauvris par des terres qu'on ne peut pas les traiter. Au reste ils se réduisent très-facilement, bien que, sans addition de pierres calcaires, ils paraissent quelquefois réfractaires. Ils sont très-disposés à donner de la fonte blanche avec des laitiers *colorés en noir;* parce que le silicate d'alumine ne peut entrer en fusion qu'en se chargeant d'oxidule de fer. Mélangés en proportions convenables avec la pierre calcaire, ils produisent de la fonte grise avec un laitier clair. C'est M. Berthier qui a répandu le plus de lumière sur la composition de ces minérais.

ANALYSES DE FERS CARBONATÉS ARGILEUX *.

NUMÉROS.	NOMS des AUTEURS.	PROTOXIDE de fer.	PROTOXIDE de manganèse.	MAGNÉSIE.	CHAUX.	SILICE ou silicate d'alumine.	ALUMINE.	ACIDE carbonique, bitume et eau.
	MM.							
1	Dumenil.	45,64	7,76	»	4,47	4,20	2,36	36,50
2	Philipps.	43,26	trace	»	1,89	20,78	»	30,30
3	Berthier.	34,0	3,6	1,2	11,0	17,0	»	32,7
4	*id.*	43,6	6,0	2,0	5,0	9,1	»	34,3
5	*id.*	51,5	»	0,8	4,0	8,7	»	35,0
6	*id.*	42,5	1,0	2,8	»	11,0	6,0	35,5
7	*id.*	48,0	2,4	0,4	»	8,4	4,2	36,0
8	*id.*	43,5	1,2	0,7	»	11,0	3,8	39,0
9	*id.*	35,0	0,3	1,6	»	26,5	11,8	25,5
10	*id.*	51,0	1,5	»	1,0	9,0	7,0	29,5
11	*id.*	43,9	0,2	2,0	»	10,2	13,0	30,5
12	*id.*	54,2	1,1	0,9	0,3	12,8	1,8	28,9
13	*id.*	37,3	1,7	1,9	6,0	25,0	0,9	27,7
14	*id.*	33,5	1,6	2,0	»	27,5	6,2	29,7
15	*id.*	13,5	0,3	0,8	7,4	47,1	6,3	24,6
16	*id.*	20,3	0,6	0,3	4,2	47,4	3,3	21,9
17	*id.*	28,5	1,1	5,0	3,0	35,7	6,3	21,0
18	*id.*	45,0	2,9	»	0,3	18,9	6,1	25,7
19	*id.*	46,7	2,8	»	2,4	11,4	2,9	32,5
20	*id.*	41,8	4,1	»	0,2	12,3	3,2	38,4
21	*id.*	50,8	1,0	»	3,5	10,3	2,8	31,6
22	*id.*	38,0	2,5	1,5	13,0	»	2,0	42,2
23	*id.*	41,2	1,0	3,0	8,0	18,2	2,0	21,4
24	Karsten.	50,80	1,65	0,63	0,54	11,87	2,80	31,71

* Le minérai n° 1 provient de Neustadt, près du Rubenberge.

Le n° 2 vient du Gorkshire; il renferme 2,67 parties de carbone; les 20,78 parties (septième colonne), se composent d'argile siliceuse.

Le n° 3 vient de Lavoulte, d'une formation calcaire; les 17,0 parties

Il résulte des ces analyses que les quantités de silice et d'alumine mélangées au protocarbonate de fer, sont extrêmement variables. Le protoxide de manganèse, la chaux et la magnésie sont toujours combinés avec l'acide carbonique. Les minérais sont d'autant plus réfractaires que le contenu d'alumine est plus grand par rapport au contenu

---

(septième colonne) se composent de 12 parties de silice et de 5 parties d'alumine.

Le n° 4 vient de Martigues, d'un terrain calcaire; les 9,0 parties (septième colonne) sont de l'argile siliceuse.

Le n° 5, *qui est magnétique*, provient d'une formation calcaire très-récente; les 8,7 parties sont de l'argile siliceuse. Ce minérai contient, par suite d'une décomposition spontanée, de *l'oxidum ferroso-ferricum* libre.

Le n° 6 vient du Vieux-Condé, d'une formation houillère; il contient 4,8 parties d'eau et de bitume (neuvième colonne).

Le n° 7 vient de la formation houillère d'Anzin; il renferme 4,4 parties d'eau et de bitume.

Le n° 8 qui vient du même lieu, renferme 11,2 parties d'eau.

Le n° 9 vient de Megescôte, d'une formation houillère; il renferme 6,2 parties d'eau.

Le n° 10 vient de Brassac, département de la Haute-Loire; il contient 4,3 parties d'eau.

Le n° 11 vient du départem. de l'Allier; il renferme 7,00 parties d'eau.

Le n° 12 *id.* *id.* *id.* 1,3 parties d'eau.

Le n° 13 *id.* *id.* *id.* 2,1 parties d'eau.

Les n^{os} 14, 15, 16, viennent de la formation houillère de Rives-de-Gier; ils renferment 11,5, 9,2 et 8,2 parties d'eau: ce sont des espèces de grès ferrifères.

Le n° 17 vient du même lieu; il est anhydre et renferme 0,3 p. % d'acide phosphorique.

Le n° 18, de Rives-de-Gier; il contient 3,1 parties d'eau.

Le n° 19 *id.* *id.* 7,3 *id.*

Les n^{os} 20 et 21 *id.* *id.* 16,6 d'eau et de houille.

Le n° 22 *id.* il est anhydre et il renferme 9,6 pour cent de houille à l'état de mélange.

Le n° 23 vient du même lieu; mais il a subi une première décomposition; il renferme 6,1 pour cent d'acide phosphorique.

Le n° 24 vient de la Haute-Silésie, des houillères de Babkowsky.

de silice. Ceux qui renferment peu de silice exigent un fondant siliceux et calcaire; ceux, au contraire, qui sont riches en silice, se traitent par une addition de carbonate de chaux pure.

Plusieurs protocarbonates argileux qui avaient éprouvé une décomposition spontanée, ont donné, étant analysés par M. Berthier, les mêmes résultats que les fers argileux bruns.

Les carbonates argileux compactes qu'on trouve avec le lignite de Liedberg dans un terrain argileux, ont donné à M. Bischof 52,128 parties de protoxide de fer, 5,676 de silice, 9,965 d'alumine, de magnésie et de chaux, 32,231 d'acide carbonique, et en outre des débris de végétaux.

386. Les composés de fer oxidé et *d'acide phosphorique* ne se présentent que trop fréquemment, au préjudice des maîtres de forges, dans les fers argileux, les fers siliceux, les carbonates argileux et surtout dans les fers limoneux; de plus les phosphates de fer existent aussi purs, compactes ou cristalisés et non mélangés avec le fer oxidé. On les a très-peu étudiés, bien qu'ils offrent beaucoup d'intérêt pour la pratique, vu l'influence nuisible qu'ils exercent sur la qualité du fer.

Le protophosphate a une couleur blanche, qui passe rapidement au bleu par l'action de l'air atmosphérique. C'est en cet état qu'on le voit fréquemment dans les terrains des dernières formations, dans la tourbe et les fers limoneux. On l'appelle alors bleu de Prusse naturel ou fer terreux bleu; le métal s'y trouve oxidé au degré du fer magnétique: mais il n'est pas toujours à ce degré d'oxidation dans les phosphates bleus; il en existe qui ne renferme point de peroxide. Ces composés contiennent toujours de l'eau; en sorte que le degré d'oxidation du fer peut changer par l'analyse, et qu'il devient difficile de déterminer les proportions de protoxide et de peroxide.

Voici les résultats de huit analyses de fer phosphaté:

1° Le vivianite ou le fer bleu lamelleux de S^t^-Agnès, dans le Cornouialles, est composé, d'après M. Stromeyer, de 41,2266 parties de protoxide de fer, de 31,1825 d'acide phosphorique et de 27,4843 d'eau.

2° Le fer résinite de Limoges contient, d'après M. Berzélius, 31,9 parties de protoxide de fer, 32,6 de protoxide de manganèse, 32,8 d'acide phosphorique et 32,2 de phosphate de chaux;

3° Le minérai phosphaté d'Aeglar près de Compregniac, département de la Haute-Vienne, renferme, d'après M. Berthier, 56 parties de protoxide de fer, 27,3 d'acide phosphorique et 16,5 d'eau;

4° Le fer bleu spathique de Bodenmais, se compose, d'après M. Vogel, de 41,0 parties de protoxide de fer, 26,4 d'acide phosphorique et de 31,0 d'eau;

5° Le fer terreux bleu d'Allegras contient, d'après M. Berthier, 43 parties de protoxide de fer, 23,1 d'acide phosphorique, 0,3 de protoxide de manganèse, 0,6 d'alumine et 32,4 d'eau;

6° Le fer terreux bleu de l'Isle de France se compose, d'après M. Laugier, de 41,25 parties de protoxide de fer, 19,25 d'acide phosphorique, 31,25 d'eau, 5 d'alumine et 1 de silice;

7° Le fer terreux bleu d'Eckartsberga contient, d'après M. Klaproth, 47,5 parties de protoxide de fer, 32 d'acide phosphorique et 20 d'eau;

8° Le fer terreux bleu de Hillentrup se compose, d'après M. Brandes, de 43,775 parties de protoxide de fer, 30,32 d'acide phosphorique, 25 d'eau, 0,7 d'alumine et de 0,025 de silice.

Les composés des n^os^ 5, 6, 7 et 8 n'offrent point de proportions déterminées. Il serait donc possible que ces fers terreux bleus continssent aussi du peroxide.

Il existe en outre des phosphates de peroxide caractérisés par une couleur verte, brune ou jaunâtre. Ils paraissent contenir encore une certaine partie de protoxide; le rapport entre l'acide et la base est variable. Voici les résultats des analyses de plusieurs échantillons de ce minéral :

1° L'hétépozit de Hureaux, département de la Haute-Vienne, se compose, d'après M. Vauquelin, de 35,5 parties d'oxide de fer, de 16,5 d'oxide de manganèse, de 48 d'acide phosphorique (à l'état naturel, il renferme 5 p. % d'eau).

2° L'huraulite, du même lieu, analysé aussi par M. Vauquelin, contient 15 parties de peroxide de fer, 44 d'oxide de manganèse et 41 d'acide phosphorique (à l'état naturel, il contient 20 p. % d'eau).

3° Le phosphate de peroxide du département de la Haute-Vienne, est composé, d'après M. Vauquelin, de 52,2 parties de peroxide de fer, de 6,76 d'oxide de manganèse, de 27,85 d'acide phosphorique et de 9,19 d'eau.

4° Un minéral rayonnant, jaune-pâle, provenant de Zbirow en Bohème, analysé par M. Steinmann, donna 36,32 parties de peroxide de fer, 17,86 d'acide phosphorique, 10,01 d'alumine, 8,9 de silice, 0,15 de chaux et 25,95 d'eau.

5° Un minérai vert, de Sayner, contient, d'après mes propres expériences, 63,45 parties de peroxide de fer avec un peu de protoxide, 27,717 d'acide phosphorique et 8,56 d'eau.

387. Les composés de fer oxidé et d'*acide arsénique* offrent peu d'intérêt pour la pratique, parce qu'ils sont extrêmement rares. On a trouvé, en Saxe et en Bohème, des arséniates de protoxide, sous forme de petits cristaux bleus, verdâtres, parfaitement clairs et contenant de l'eau de cristalisation. Ce sel fut appellé *skorodite*.

On ne connaît pas encore de perarséniate naturel. Les

minérais, que l'on supposait être des sels de cette espèce, contiennent, d'après M. Berzélius, du protoxide de fer, et c'est probablement à ce dernier qu'ils doivent leur couleur verte. On les appelle mines de fer cubique. M. Berzélius a trouvé, dans l'arséniate de Villa-Rica, en Brésil, 34,85 parties de peroxide et de protoxide, 50,78 d'acide arsénique, 0,67 d'arseniate d'alumine et 15,55 d'eau. La mine de fer cubique du Cornouailles se compose de 39,20 parties de peroxide avec du protoxide, de 37,82 d'acide arsénique, de 2,53 d'acide phosphorique, de 0,65 d'oxide de cuivre, de 18,61 d'eau et de 1,76 p. % d'un résidu insoluble.

388. Ce n'est que pour rendre plus complet le sujet que nous traitons, qu'il sera fait mention du minéral appelé fer *piciforme;* il n'offre aucun intérêt pour la pratique. On l'a trouvé pour la première fois dans les mines de Freiberg; il donna à M. Stromeyer 33,0960 parties de peroxide, 0,6417 d'oxide de manganèse, 26,0591 d'acide arsénique, 10,0381 d'acide phosphorique et 29,2556 d'eau. L'auteur fait observer que les proportions d'acide et d'oxide ne sont pas constantes. Il paraît que ce minérai se forme par la décomposition spontanée des pyrites arsénicales. Il en existe de semblables dans les mines de houille. Le plus souvent, ils ne contiennent que de l'oxide de fer, de l'eau et de l'acide sulfurique.

389. *L'oxalate* de fer appelé aussi *l'humboldite,* ne présente pas plus d'intérêt au sidérurgiste praticien que le fer piciforme, bien que sa formation soit très-remarquable. On le trouve, dans les gîtes de lignite, accompagné de gypse. Il a donné à M. Mariano de Rivero 46,14 parties d'acide oxalique et 53,86 de peroxide de fer.

GÉNÉRALITÉS SUR LES OPÉRATIONS QU'ON FAIT ÉPROUVER AUX MINÉRAIS AVANT DE LES FONDRE.

390. On réduit les minérais de fer en grand comme dans les essais; on les fond, en contact avec le charbon qui sert de réactif. Il s'ensuivrait que le résultat de l'opération serait toujours de la fonte, du fer combiné avec le carbone et les métaux terreux, si quelquefois le fer cru ne se trouvait converti, par l'action du courant d'air, en une espèce d'acier, et même, d'après certains procédés, en fer ductile, lorsque ces sortes de procédés sont portés à leur dernier degré de perfection.

391. Il est un fait d'expérience qui, au premier aspect, semble opposé à ces principes, c'est que certains minérais fondus au creuset, enveloppés de poussière de charbon et garantis du contact de l'air, donnent du fer aciéreux au lieu de fer cru; mais en examinant ce phénomène de plus près, on voit qu'il n'arrive qu'avec des minérais pauvres, contenant beaucoup de terres et fournissant une scorie épaisse et réfractaire.

Un degré de chaleur susceptible de réduire des minérais riches, ne produit, avec les minérais pauvres et réfractaires, qu'une vitrification générale; parce que tout le contenu de protoxide est nécessaire pour rendre liquide la masse de laitier: si l'on élève la température, la réduction s'effectue; mais, au lieu de former un culot, le fer désoxidé se trouve disséminé dans ces scories visqueuses, soit en globules, soit en veines très-fines, dont une partie est de la fonte et une autre du fer aciéreux. En réunissant ces faits, on en peut conclure que la viscosité des scories protégeait l'oxide contre l'action du carbone; que les parties réduites, et qui avaient absorbé une assez grande quantité de ce réactif pour être changées en fonte, le cédaient ensuite à celles

qui se trouvaient encore oxidées, et passaient par conséquent, elle-mêmes, à l'état de fer aciéreux. Les minérais qui ne donnent point de scories épaisses, ne peuvent, dans les essais en petit, produire du fer ductile.

392. On doit attribuer la possibilité d'extraire le fer de ses minérais, à la propriété des terres de se vitrifier en contact même avec le charbon, lorsque, mêlées en proportions convenables à la silice, elles sont soumises à l'action d'une forte chaleur. Une petite portion seulement se trouve réduite et se combine avec le fer cru, surtout quand elles sont très-fusibles; tandis que l'autre passe à un état de vitrification plus ou moins avancée, et entraîne une quantité de protoxide de fer d'autant plus considérable que la température est plus basse, ou que ces terres sont elles-mêmes plus réfractaires.

393. Ce n'est que plus tard que nous pourrons entrer dans tous les détails de la formation des scories ou laitiers. Remarquons seulement qu'ils sont toujours composés d'oxides métalliques ou d'oxides terreux, combinés avec la silice; car il existe très-peu d'oxides, et il n'y a point de terre, qui soient fusibles pris isolément: la fusion ne serait guère plus facile, si les oxides étaient mêlés entre eux sans addition de silice; ceux qui sont réductibles par le charbon, comme par exemple les oxides de fer, se désoxideraient, mais le métal resterait mélangé avec les autres corps. C'est seulement par la liquéfaction de toutes les matières que les grains métalliques peuvent se séparer des autres substances, et se réunir alors en un seul régule.

394. On savait depuis long-temps que c'était la silice qui, dans les températures élevées, entraînait les terres et les oxides métalliques en vitrification. M. Berzélius a donné de ce fait une explication satisfaisante, qui est devenue la base d'une théorie claire et lumineuse sur la fusion des scories et la réduction des métaux.

Il existe de grandes différences dans la fusibilité des silicates. Ces différences sont dues, soit à la nature des bases, soit à leurs degrés de saturation. La plupart des oxides des métaux anciens donnent des silicates très-fusibles; les silicates d'alumine se distinguent au contraire par leur infusibilité; les silicates de chaux et les silicates de magnésie paraissent moins réfractaires et ne diffèrent guère entre eux sous ce rapport. Les silicates à bases multiples, sont ordinairement plus fusibles que les silicates à bases simples. Au reste les terres qui se présentent le plus fréquemment avec les minérais, et qui doivent être vitrifiées par la silice, sont l'alumine, la chaux et la magnésie.

Les sous-silicates sont ordinairement plus réfractaires que les silicates, et ceux-ci paraissent aussi plus fusibles que les bisilicates, ces derniers, plus que les trisilicates et ainsi de suite.

Dans la réduction des minérais de fer, il s'agit surtout de former des silicates fusibles au degré de température employée, et sans que cette fusibilité soit déterminée par une trop forte chaleur ou par la vitrification du protoxide de fer, ce qui occasionnerait une perte considérable.

395. Il paraîtrait, d'après cela, que les minérais les plus faciles à fondre et à traiter pour fer cru, seraient ceux qui contiendraient le moins de terres, comme le fer magnétique, le fer spéculaire, l'oxide rouge et l'oxide brun; parce qu'ils ne donnent presque point de scories, et que leur réduction n'éprouve en ce cas aucun obstacle. C'est aussi ce qui a lieu dans les essais; mais dans les opérations en grand, il en arrive autrement. Si le fer n'est pas protégé par le laitier, une partie, en passant devant la tuyère, se combine de nouveau avec l'oxigène et se convertit en scories; l'autre, perdant de son carbone, passe à l'état aciéreux. Au reste on traite souvent ces minérais par des procédés particuliers, pour en obtenir immédiatement du fer ductile.

On peut même ajouter qu'ils conviennent seuls à ces sortes de procédés; attendu qu'on opère à une température peu élevée, et qu'on ne pourrait se débarrasser de la masse de terres renfermées dans les minérais pauvres qu'aux dépens d'une grande partie du métal.

396. Ainsi la difficulté ne provient que du fer aciéreux et réfractaire qui s'attache aux parois du haut fourneau, forme des engorgemens et finit par arrêter l'opération. On peut obvier à ces inconvéniens par des additions de laitiers ou de terres faciles à vitrifier. Il s'ensuit que les minérais riches doivent être mêlés avec des minérais pauvres, et à leur défaut avec des matières stériles. Il ne s'agit en effet que de former des laitiers qui puissent protéger la fonte contre l'action du courant d'air: dans cecas on ne peut avoir pour but, comme il arrive quelquefois, de diminuer la fusibilité du minérai.

Il existe des minérais qui entrent en fusion avant d'être réduits: les silicates en général, et par conséquent les scories de forges qui sont des silicates artificiels, se trouvent dans ce cas. On leur ajoute des terres pour présenter une autre base à la silice, les rendre moins fusibles et faciliter leur réduction; la chaux mêlée d'alumine convient ordinairement. Les fers limoneux doivent être traités de la même manière, et pour les mêmes causes, ainsi qu'un grand nombre de fers carbonatés argileux, bien que les silicates terreux qu'ils renferment soient mélangés seulement et non combinés avec les autres substances.

397. En Suède, on distingue les minérais d'après leurs richesses, leur fusibilité et la quantité de laitiers qu'ils donnent pendant leur réduction. Les uns sont qualifiés de minérais secs, lorsqu'ils sont riches et qu'ils donnent peu de laitiers; les autres de minérais fusibles par eux-mêmes; les troisièmes enfin de minérais à mélanges: ceux-ci sont composés de manière qu'ils donnent soit par

eux-mêmes, soit par leur gangue, une assez grande quantié de laitiers pour qu'ils puissent servir de fondant aux minérais riches, dont on retire alors d'excellent fer.

308. Il est évident que la classification suédoise, dont nous venons de parler, ne fait aucune distinction entre les oxides de fer souillés par la présence accidentelle de certains corps, et les oxides combinés avec ces mêmes substances. Une même espèce de minérai peut appartenir tantôt à l'une tantôt à l'autre classe. Du fer spathique, par exemple, qui ne contiendrait que du carbonate de magnésie, et qui ne serait point souillé de gangue, serait compté parmi les minérais secs; s'il était en outre accompagné d'une gangue quartzeuse qui donnât avec la magnésie un laitier fusible, il faudrait le ranger parmi les minérais fusibles par eux-mêmes; enfin on le classerait parmi les minérais à mélanges, s'il renfermait plus de silice qu'il ne serait nécessaire pour saturer les bases et former avec elles des bisilicates ou trisilicates; car c'est ainsi que les laitiers des fourneaux à charbons de bois sont ordinairement composés.

Il existe cependant des minérais de fer qu'on peut qualifier, avec raison, de fusibles par eux-mêmes; ce sont les fers siliceux composés de manière que la silice qu'ils renferment suffit exactement pour former avec les bases terreuses des bisilicates: les grenats sont dans ce cas. Le minérai, constituant un bisilicate de fer, pourrait encore être fusible sans addition, s'il était extrêmement pauvre; dans le cas contraire, il faudrait le ranger parmi les minérais à mélanges.

399. Le degré de consistance des laitiers est un point essentiel dans le traitement des minérais pour fonte: trop visqueux, ils enveloppent le fer entièrement; trop liquides, ils l'abandonnent avant d'arriver au creuset: nous reviendrons sur cet objet. Notre but était seulement d'observer

que le sidérurgiste a beaucoup de précautions à prendre, pour traiter chaque minérai de la manière la plus avantageuse.

400. Les minérais riches, non souillés de pyrites, de fer arsénical, de spath pesant, d'apatit *, ou d'autres phosphates, produisent ordinairement de bons fers. Ils sont d'autant plus disposés à donner de la fonte grise, que les laitiers sont plus épais et plus réfractaires. Composés de manière que les laitiers soient très-fusibles, ces minérais donnent de la fonte blanche et ne pourraient être traités convenablement pour fonte grise. Ceux qui contiennent beaucoup de manganèse se trouvent dans ce cas. Ils se réduisent facilement, possèdent une grande fusibilité, sont faciles à traiter et fournissent un fer de bonne qualité, sans qu'il soit nécessaire qu'on en obtienne de la fonte grise, à moins qu'ils ne soient souillés de soufre ou d'acide phosphorique: s'il en était ainsi, on changerait la composition des laitiers pour les rendre plus réfractaires.

401. Il est constaté depuis long-temps par l'expérience, que les minérais fraîchement tirés du sein de la terre, quoique plus fusibles, se réduisent plus difficilement et donnent souvent de plus mauvais produits, que ceux qui ont séjourné long-temps à l'air, ou ceux qui ont d'abord subi une calcination à une chaleur modérée. On a cherché bien loin la raison de ce fait singulier. La plupart des métallurgistes pensent que ces préparations portent le fer à un plus haut degré d'oxidation, et qu'alors on le réduit avec plus de facilité; mais les essais en petit, ne viennent point à l'appui de cette assertion, car si de ce côté il y avait un avantage, il serait plutôt en faveur du protoxide. D'ailleurs les minérais riches ne sont réduits que trop promptement, à tel point qu'on ne peut même les fondre avec avantage

* Chaux phosphatée.

dans les hauts fourneaux, et les peroxides ne pourraient absorber de l'oxigène; cependant, il est certain qu'on facilite leur traitement par un grillage préalable ou par un long séjour à l'air atmosphérique.

402. Le grillage et un séjour prolongé à l'air, ont pour but principal de diminuer la force de cohésion et d'augmenter par conséquent les effets de l'affinité, de disposer les minérais à former de nouvelles combinaisons et de faciliter ainsi l'influence que le carbone doit exercer sur ces matières, dans les températures qui précèdent la fusion.

Les minérais durs, tels que le fer spéculaire et le magnétique, ne subissent point d'altération spontanée: la division intérieure dont il s'agit ici, ne peut être provoquée que par le grillage. Le fer spathique, l'oxide rouge et l'oxide brun, exigent un temps très-long pour éprouver ce changement; on doit donc le hâter par le feu. Il existe des fers argileux qui demanderaient pour cet effet un certain nombre d'années: il faudrait les accumuler en masses considérables, et comme on ne peut avoir de pareils approvisionnemens, on est encore obligé de les calciner; mais les minérais friables et ocreux n'en ont aucun besoin. Les fers limoneux peuvent s'en passer également, parce qu'ils sont très-fragiles en sortant de la terre, et qu'ils se divisent facilement en petits morceaux.

403. L'altération à l'air est accompagnée d'une oxidation plus forte que celle qui résulte du grillage, si toutefois le métal est en partie à l'état de protoxide; la division qu'on a en vue d'opérer devient donc plus complète. Dans le cas même où l'on traiterait un peroxide, l'altération spontanée produirait un effet plus fort que la calcination: les minérais qui l'ont éprouvée sont plus cassans et plus friables que ceux qui ont subi seulement l'action de la chaleur.

404. Le degré de chaleur du grillage doit être réglé sur la fusibilité des minérais. Les carbonates argileux, les fers

spathiques mélangés avec une gangue quartzeuse, les fers bruns et les oxides rouges se vitrifient promptement. Il en résulte alors des scories ou silicates de fer qui, bien que très-fusibles, sont difficiles à réduire. En produisant cet effet, le grillage ne servirait qu'à augmenter les difficultés de la réduction.

405. Des minérais dont la force de cohésion a été déjà ébranlée par le feu, deviennent bien plus tendres étant exposés à l'air; leur oxide passe bien plus vîte au maximum d'oxidation. Si le prix du combustible le permettait, on devrait toujours les griller d'abord et les soumettre ensuite, le plus long-temps possible, à l'influence de l'air atmosphérique.

406. Le grillage est surtout très-essentiel, lorsqu'on ne peut se servir que de petits hauts fourneaux animés d'un faible degré de chaleur et soumis à de fréquentes variations de température. Si cette opération était négligée, les minérais pourraient être fondus ou vitrifiés avant que la réduction n'eût lieu. La tuyère commence alors par s'obscurcir, le laitier qui la bouche à chaque instant devient sombre, le fourneau se refroidit, toute son allure annonce une surcharge de minérai, la fonte est blanche, le laitier noir, pesant et chargé de protoxide de fer; parce que le métal réduit et fondu imparfaitement, s'oxide de nouveau, soit par son mélange avec le minérai, soit par l'action directe du courant d'air. Mais les mêmes causes de dérangement n'existent point dans les fourneaux qui ont une certaine hauteur, parce que les minérais sont préparés à la fusion dans la partie supérieure de la cuve.

407. L'effet du grillage ne se borne pas seulement à rompre la force de cohésion des minérais, mais il sert encore à chasser l'eau et l'acide carbonique; ce qui est beaucoup plus important qu'on ne le croirait au premier abord. On sait qu'une pression mécanique s'oppose à l'évaporation

des fluides : le combustible et les minérais entassés dans la cuve du fourneau, exercent une semblable pression et retardent en quelque façon le dégagement de l'eau et de l'acide carbonique.

Cet obstacle opposé à la réduction, acquiert plus d'énergie encore par le refroidissement que produit la naissance des gaz; et ce refroidissement est proportionnel à la quantité d'eau et d'acide carbonique introduits dans le foyer. Telles sont les raisons qui rendent avantageuses et même nécessaires l'altération spontanée et la calcination, sur-tout pour des hauts fourneaux qui n'ont qu'une faible élévation.

408. Des minérais crus ou récemment extraits de la mine, peuvent, quoiqu'en petite dose, produire les mêmes phénomènes qu'une surcharge de minérais grillés : la réduction arrive trop tard, la séparation des matières est incomplète, le fer absorbant moins de charbon et le cédant même en partie au minérai avec lequel il reste mélangé, devient si réfractaire, et le laitier augmente à tel point, que le fourneau finit par s'engorger. Lors donc qu'on emploie de petits fourneaux, le grillage améliore la qualité du fer cru, produit une économie de combustible et prévient les accidens. MM. de Pantz et Atzl ont fait à ce sujet des essais très-intéressans : il en est résulté que la dépense en charbon n'était que de 15 pieds cubes par quintal de fonte pour la mine douce (384), et de 21 pieds pour le fer spathique non altéré à l'air, quoique celui-ci contînt un peu plus de métal que les autres.

409. Si le séjour à l'air atmosphérique et le grillage sont utiles pour tous les minérais, la dernière de ces préparations devient indispensable pour ceux qui sont imprégnés de pyrites. Le soufre, d'après ce que nous avons vu, ne pourrait en être séparé dans les hauts fourneaux, hormis la partie dont le dégagement fait descendre les pyrites à

l'état de sulfure magnétique; ce n'est que la calcination à l'air qui peut opérer une décomposition complète. On est même obligé de faire supporter à ces minérais un feu plus fort et plus soutenu, que si l'on voulait seulement les diviser, ou chasser l'eau et l'acide carbonique. Souvent on les couvre de poussière de charbon, vers la fin de l'opération, afin de décomposer l'acide sulfurique formé par la présence de l'eau, et d'en faire dégager le soufre à l'état de gaz acide sulfureux; mais l'effet produit ne compense ni les frais, ni la perte de temps.

Dans certaines usines, on éteint dans l'eau les minérais grillés, on les lessive pour ainsi dire et on les expose ainsi en couches minces à l'influence de l'humidité atmosphérique; ce sont d'excellens moyens de se débarrasser du reste de l'acide sulfurique. Il faudrait ensuite pouvoir les conserver un certain temps à couvert ou les sécher par un moyen économique.

410. Quelque soin que l'on prenne à préparer les minérais sulfureux, on ne parvient pas toujours à chasser le soufre entièrement. Cependant nous avons vu qu'une très-petite quantité de ce corps produit sur le fer un effet très-nuisible. On est donc obligé de traiter ces minérais pour fonte grise, par les raisons que nous avons déjà fait entrevoir (327); d'autant plus qu'il se combine plus de soufre avec les laitiers, si la chaleur du fourneau est très-élevée, ce qui n'a pas lieu quand il donne de la fonte blanche.

411. Le grillage avec ou sans poussière de charbon, ne peut améliorer les minérais phosphatés; il ne sert donc qu'à les diviser, à leur enlever l'eau dont ils sont tellement chargés que la dose s'élève souvent de 20 à 25 pour cent. L'acide se décompose en entier et cède le phosphore au fer cru, quelle que soit l'allure du fourneau; car la fonte grise ne contient pas moins de phosphore que la fonte blanche. L'effet serait à peu de chose près le même, si l'acide phos-

phorique n'était pas combiné avec l'oxide de fer, et que ce dernier fût seulement mélangé avec du phosphate de chaux.

Le plomb, le cuivre et le zinc résistent également à la calcination; ils sont réduits dans le fourneau, se combinent entre eux et avec le fer, ou ils restent dans le creuset sans former d'alliage, ou enfin ils se volatilisent. Le fer arsenical se décompose par la calcination; la majeure partie de l'arsenic s'échappe, mais le reste se portant sur le métal, peut le détériorer.

412. Il ne suffit pas de préparer les minérais par le grillage ou le séjour à l'air, on doit encore les concasser, les bocarder. La fusion et la réduction deviennent plus faciles et *plus complètes,* lorsque les fragmens que le carbone doit attaquer, sont réduits à une certaine grosseur; c'est ainsi qu'on accélère la dissolution des corps dans les liquides, en multipliant les surfaces. Ces fragmens doivent être d'autant plus petits que les fourneaux sont plus bas; cependant il ne faut pas les convertir en poussière: ce serait un moyen de fermer le passage à l'air, et d'engorger la cuve. La poussière d'ailleurs, dont une partie est chassée par le vent, accroît le déchet, s'agglutine promptement et entre en vitrification. La grosseur des morceaux peut varier entre 20 et 80 centim. cubes. On doit éviter sur-tout de les réduire en trop petits fragmens, lorsqu'avec de gros charbons on fait de faibles charges.

413. Malgré tous les soins apportés à ces opérations préparatoires, les minérais ainsi que nous l'avons vu (392 et suiv.), ne peuvent être traités avec avantage, lorsqu'ils sont trop riches, ou lorsqu'ils donnent un laitier trop épais ou trop liquide. Garney pose en principe qu'ils doivent contenir au plus de 45 à 55 pour cent de métal. Passé ce point, ils ne fournissent pas assez de laitiers, d'après cet auteur, à moins qu'on ne leur ajoute des matières *stériles.*

Duhamel prétend que la quantité de scories, prise au volume, doit être quatre ou cinq fois plus forte que celle de la fonte; mais ces données sont exagérées. Sous ce rapport on ne peut établir une loi générale et positive.

414. Il est assez facile de régler la marche du fourneau, si l'on traite des minérais pauvres; mais une grande quantité de métal reste alors incrustée dans les laitiers, qui sont très-abondans et très-visqueux. On ne peut y remédier qu'en rendant les laitiers plus liquides qu'on ne devrait le faire, eu égard à la qualité du produit qu'on veut obtenir *.

415. Il existe peu de minérais qui, sans aucune addition, puissent être fondus avec avantage.

Les matières stériles qu'on leur ajoute, pour faciliter la fusion des terres et empêcher la vitrification du protoxide de fer, portent le nom de *flux* ou de *fondant;* leur nature et leur dosage sont réglés par la nature des minérais et le degré de chaleur du foyer. Si le fourneau est très-élevé, s'il peut acquérir une très-haute température, il faut une plus faible quantité de fondant pour donner aux laitiers la fluidité convenable, et pour opérer une réduction parfaite.

416. Depuis que l'on connaît le rôle que joue la silice dans la formation des laitiers, il est facile de se rendre compte de l'effet produit par les fondans. Des minérais, par exemple, qui ne contiendraient pas de silice, se réduiraient, mais ils n'entreraient pas en liquéfaction sans une addition de ce corps, proportionnée à la masse des bases terreuses et à la température du fourneau. Des minérais qui contiennent beaucoup d'alumine, doivent être traités de manière que les laitiers forment un silicate plutôt qu'un bi-

* On bocarde les laitiers pour en retirer les grains de fonte, mais on en perd; et cette fonte en grenaille n'est pas, à beaucoup près, sous la forme la plus avantageuse. Le T.

silicate. Le contraire aurait lieu avec des minérais renfermant plus de chaux et de magnésie que d'alumine. Ceux enfin dans lesquels l'oxide de manganèse prédomine, reçoivent un fondant tel que les laitiers se rapprochent des trisilicates; afin que, par une trop grande fusibilité, ils ne diminuent pas le produit.

Les minérais qui contiennent un excès de silice, soit combinée, soit mélangée avec l'oxide de fer, doivent recevoir des fondans calcaires, dont la dose sera proportionnée au contenu de silice. Si avec cette dernière ils renferment aussi de l'alumine, on fera bien d'employer la pierre calcaire pure. Si au contraire ils ne contenaient que de la silice, on emploierait de préférence une substance calcaire argileuse.

On pent conclure de ce qui précède, que les matières stériles ajoutées aux minérais ne constituent de véritables flux, qu'autant qu'elles renferment de la silice. Dans tous les autres cas elles s'opposent à la trop grande fusibilité du minérai, c'est-à-dire à la formation des laitiers riches en silicate de protoxide de fer: elles rendent alors le mélange plus réfractaire et favorisent par suite la réduction.

417. On mêle ensemble les minérais de différentes espèces (397 et suiv.), non-seulement pour donner à la masse une teneur convenable, mais aussi ponr augmenter la fusibilité de la gangue. Ce moyen, lorsqu'il est praticable, sans addition de matières stériles, offre d'autant plus d'avantage qu'il existe des minérais qui sont réfractaires pris isolément, et fusibles étant mêlés. En général les mélanges favorisent la vitrification et conduisent à des résultats économiques.

418. C'est du choix et du juste dosage des fondans, que dépendent en grande partie les bénéfices du fabricant. Employés en trop forte dose, ils manquent leur but, celui de donner aux scories une consistance moyenne; il est assez

difficile d'en fixer les proportions avec exactitude. A la rigueur, il faudrait même les régler selon la marche du fourneau; mais on adopte ordinairement un dosage fourni par l'observation, lorsque la température du foyer n'est ni très-basse ni très-élevée.

419. Des chimistes et des métallurgistes ont cherché à déterminer le degré de fusibilité des terres mêlées entre elles; mais leurs recherches n'ont pu répandre beaucoup de lumières sur la conduite des hauts fourneaux. C'est encore à l'expérience qu'il faut recourir. Loin de moi cependant, l'idée de vouloir jeter une défaveur sur les essais qui ont été faits par Achard, Bergman, Chaptal, Cramer, Ehrmann, Gerhard, Gilbert, Guyton-Morveau, Homberg, Kirwan, Klaproth, Lampadius, Lavoisier, Lelièvre, Marggraf, Poërner, Tiemann, Wiegleb et surtout par Starbæck (312), etc.; ils indiquent du moins le chemin à suivre dans les tâtonnemens.

Il résulte en général de ces expériences, que la chaux, la silice, l'alumine et la magnésie sont infusibles prises séparément; qu'aucun mélange de terre n'est fusible sans la présence de la silice; que la fusion de l'oxide de fer ne peut avoir lieu par l'addition d'une seule terre, la silice exceptée; que les mélanges ternaires sont plus faciles à fondre que les mélanges binaires; que les mélanges quaternaires se vitrifient encore plus facilement, et que l'oxide de manganèse enfin détermine promptement la liquéfaction de toutes les terres.

420. La théorie de la vitrification des oxides, aidée par les essais en petit, indique bien le genre de mélange terreux qu'il faut employer, mais elle ne peut faire fixer les proportions des terres dont il doit être composé, ni faire connaître les moyens de remplacer une terre par son équivalent chimique, comme par exemple la chaux, par la magnésie, etc. La solution de la question dépendrait plutôt

des propriétés des silicates de chaux, et des silicates de magnésie dans les températures élevées, que de l'action chimique de ces silicates sur le fer; puisqu'elle est nulle d'après les faits connus jusqu'ici. Il est peu vraisemblable que le fer obtenu de tous les minérais serait également bon, si l'on pouvait ajouter à ces minérais des fondans convenables. Les personnes qui ont manifesté cette opinion, supposaient à tort que la réduction du métal se ferait dans les mêmes circonstances, ce qui n'aurait pas lieu, lors même que ces fondans seraient trouvés et employés.

DES ESSAIS PAR LA VOIE SÈCHE.

421. Dans l'extraction de la plupart des métaux, de l'or, de l'argent, du cuivre, du plomb, le degré d'exactitude des opérations en grand est vérifié par les essais en petit. Cet usage n'est guère suivi dans les usines à fer; parce qu'on est certain, lorsque la marche du fourneau est bien réglée, de retirer du minérai tout ce qu'il est possible d'en extraire. C'est seulement quand il se dérange, que les scories sont chargées de métal; mais cet état ne pouvant durer sans le plus grand danger, on est bientôt forcé de revenir à une bonne allure.

Dans la préparation des autres métaux, les pertes qu'on éprouve, ne sont point signalées par la marche de l'opération; on n'en est averti que par les essais en petit. Il faut d'ailleurs examiner la richesse des demi-produits, avant de les soumettre à de nouveaux traitemens; ce qui n'a pas lieu pour le fer. Cependant, il est nécessaire au maître de forge de savoir déterminer la quantité de métal contenue dans un minérai nouvellement découvert.

422. Les essais, d'après ce qui a été dit au paragraphe 390, ne donnent, au lieu de fer, qu'un culot de fonte. Il ne peut d'ailleurs exister une parfaite harmonie entre

les résultats obtenus dans les creusets et ceux des hauts fourneaux, parce que ces résultats sont modifiés par le degré de chaleur et la nature des fondans, qui ne se ressemblent point. On peut dire même, avec beaucoup de raison, que ce sont presque toujours les opérations en grand qui servent à faire juger du degré d'exactitude des essais.

423. La richesse des minérais de fer ne peut être déterminée avec précision, qu'au moyen de l'analyse par la voie humide. Dans les essais par la voie sèche, une partie du protoxide entre dans les scories; d'un autre côté, le fer se combine avec le carbone, les métaux terreux, le soufre, le phosphore et le manganèse. De sorte qu'il faudrait mettre en jeu toutes les ressources de la docimasie, pour déterminer seulement la quantité de fer contenue dans le culot.

On peut donc admettre au moins, que les résultats des essais en petit ne peuvent indiquer la richesse des minérais avec plus de certitude que les essais en grand, faits dans les hauts fourneaux qui ont une bonne allure.

424. Nous sommes, malgré cela, bien éloignés de prétendre que dans l'extraction du fer en grand, l'analyse par la voie humide doive être employée comme moyen de vérification. Elle ne peut servir qu'à faire connaître la richesse et la composition des minérais, à fournir quelques données sur la nature du fer qu'ils peuvent produire, et sur le choix des fondans. Les analyses, pour être faites avec exactitude, exigent des connaissances très-étendues et une grande habitude; elles occasionnent en outre tant de peines, qu'il serait impossible de les mettre journellement en usage. Si, en opérant par la voie humide, on se bornait à dissoudre le minérai dans l'eau régale et à précipiter le fer par le prussiate double de potasse, dans la supposition qu'à 100 parties de bleu de Prusse, correspondent 24,7 d'oxide et 17,1 de fer (160 et 241), on

tomberait dans des erreurs bien autrement graves que celles qu'on voudrait éviter.

Si donc il ne s'agit que d'avoir des données approximatives, il faut préférer les essais par la voie sèche.

425. Pour que les choses fussent égales de part et d'autres, il paraîtrait, au premier abord, que les essais devraient avoir lieu avec les flux, qui, dans les hauts fourneaux, servent de fondans; mais cette raison n'est que spécieuse, parce que, dans toutes les circonstances de la fusion, il y a trop de différence d'une méthode à l'autre: il n'est guères possible de produire dans les petits foyers, un coup de feu aussi violent que dans les hauts fourneaux; le flux qui est assez fusible pour l'extraction du fer en grand, ne pourrait opérer dans les creusets une séparation complète des laitiers et du métal. Voilà ce qui jette de l'incertitude sur les essais des fondans exécutés en petit: ils pourraient être plus positifs, s'ils étaient précédés par une bonne analyse du minérai.

426. La manière de lotir le minérai, de le prendre sur le tas pour que l'échantillon ne soit ni trop riche ni trop pauvre, de le pulvériser dans des mortiers de fonte, de le passer au tamis, de le peser, etc., sont des choses connues. Nous faisons observer seulement que, préparé de cette façon, il doit être séché d'abord à la chaleur de l'ébullition et calciné ensuite jusqu'au rouge sur un têt couvert. La perte qu'il éprouve par la dessication, indique la quantité d'eau dont il était imbibé; celle qui résulte du grillage provient de l'eau combinée avec le fer, et de l'acide carbonique. Il ne faut donc peser les minérais qu'après les avoir desséchés. Le but de la calcination est d'empêcher, pendant la réduction, l'effervescence occasionnée par le dégagement des gaz.

427. On peut opérer la fusion dans des creusets de graphite, ou, par économie, dans des creusets communs fa-

briqués avec de l'argile réfractaire, et brasqués ensuite selon la méthode ordinaire. La poussière de charbon employée pour la brasque, doit être très-fine et délayée dans l'eau pure, à laquelle on ajoute un peu de gomme. On fait une petite cavité dans cette matière : ce serait un procédé vicieux que de vouloir consolider les parois du creux avec un enduit composé de trois parties de poussière de charbon et d'une d'argile, parce que la présence de cette terre doit modifier les résultats. Le minérai et le flux sont placés dans la cavité ; on les recouvre de poussière de charbon ; le creuset est fermé avec un couvercle d'argile ; c'est ordinairement le fond d'un vieux creuset qu'on ajoute à l'autre ; on lute ensuite avec de la terre grasse, afin d'empêcher le contact de l'air extérieur.

La fusion du minérai se fait soit devant la tuyère d'un feu de forge, soit dans un fourneau à vent : dans le premier cas, il y a économie de charbon, parce qu'on peut resserrer le foyer. Mais il est rare qu'en faisant plusieurs essais à la fois, tous les résultats soient d'accord ; on ne parvient pas toujours à appliquer aux creusets le même degré de chaleur. Le courant d'air doit frapper principalement à la hauteur où se loge le culot, et la température doit s'élever par degrés. L'opération est terminée dans une demi-heure ou trois quarts d'heure, selon l'effet que produisent les soufflets.

En employant un fourneau à vent, on doit aussi augmenter la chaleur progressivement, et renforcer le tirage par des hausses placées sur la cheminée, si le cas l'exige. Quelquefois on est obligé d'ajouter pendant l'opération, du combustible frais, ce qui doit s'effectuer avant que l'autre soit descendu très-bas. Le coke est préférable au charbon de bois, parce qu'il développe une plus grande quantité de calorique. On peut faire plus d'essais à la fois dans les fourneaux que dans les feux de forge, et les creusets reçoi-

vent dans les premiers un degré de température plus uniforme. Ceux-ci se placent sur des supports d'argile, disposés sur la grille, afin que leur partie inférieure ne soit pas trop soumise aux variations de température. Cependant pour que la chaleur la plus forte ne soit point perdue, ces supports ne doivent pas être trop épais. Lorsque l'opération est achevée, et que le régule est séparé des scories, on le pèse.

La fonte obtenue dans les essais est d'autant plus grise, que la température est plus élevée. Une faible chaleur donne de la fonte blanche et des scories chargées de métal. On ne peut donc juger à l'inspection du régule, de la nature du fer que le minérai peut produire.

428. Le choix des flux est aussi important que la graduation de la température. On ne doit pas trop craindre d'augmenter la liquidité des scories; lorsqu'elles sont trop épaisses, on perd toujours plusieurs centièmes de métal.

Il existe beaucoup de minérais qui, traités avec la poussière de charbon seule, ne peuvent entrer en liquéfaction, et d'autres qui rendent dix pour cent de fer de moins, que si on les fondait avec un flux convenable: on est même obligé, quand la dose de minérai est un peu forte, de faire un mélange intime avec toutes les substances. M. Tiemann a remarqué une grande différence dans les résultats qu'on obtient, en stratifiant le minérai avec la poussière de charbon, ou bien en faisant un mélange de toutes les matières: une très-forte température peut détruire les obstacles opposés à la réduction; cependant si les couches de charbon sont épaisses, le fer réduit, au lieu de se rassembler en une seule masse, forme plusieurs culots séparés.

429. C'est Gadolin qui étudia avec le plus de soin et le plus de succès, l'effet des divers flux sur les oxides de fer: il remarqua que toutes les substances susceptibles de se vitrifier, dissolvent le fer oxidé; qu'il existe par conséquent

entre elles et celui-ci, une certaine attraction agissant en sens inverse de la réduction.

D'après les idées reçues actuellement, on dirait que l'oxide de fer combiné avec une substance est plus difficile à réduire que l'oxide pur mêlé seulement à cette substance. Si donc un flux était doué d'une assez forte affinité pour l'oxide, il pourrait, d'après Gadolin, contrebalancer toutes les forces qui tendent à réduire le minérai. Pour déterminer sous ce rapport l'effet des flux, soit très-fusibles, soit difficiles à fondre, il fit une série d'expériences à la température de 166° de Wedgwood, il en résulte :

1° Que toutes les terres ou sels fusibles ou réfractaires, le borax excepté, agissent contre la réduction, en ce que leur présence nécessite un degré de chaleur plus considérable, que si *l'oxide pur* était fondu sans aucune addition;

2° Que les essais des minérais qui ne contiennent pas assez de terres pour leur servir de fondans, donnent, sans flux, des résultats incertains et un produit plus faible qu'avec un flux convenable; parce que les parties de métal éparses, lorsqu'elles ne sont point enveloppées et rassemblées par les scories, se perdent dans la poussière. — C'est ce qui arrive aussi dans le traitement en grand; lorsque les minérais sont trop riches, les grains de fonte restent disséminés dans les scories;

3° Que l'huile de lin, mêlée avec les minérais pauvres, produit des grains de métal disséminés;

4° Que la chaux, la magnésie et la silice, prises chacune isolément, ne retardent pas la réduction, parce qu'elles ne peuvent entrer en liquéfaction avec l'oxide;

5° Que la présence de ces terres ou de toute autre substance réfractaire, nuit cependant au succès de l'épreuve, en ce sens qu'elle empêche la formation du culot;

6° Que la magnésie est, sous ce rapport, plus nuisible que toutes les autres terres, parce qu'elle est extrêmement réfractaire;

7° Que la barite et l'alumine, prises séparément, sont moins nuisibles que la magnésie, et ne peuvent empêcher la formation du culot, lorsque la chaleur est poussée à un haut degré. — Les expériences n° 6 et 7 ne sont pas d'accord avec les faits connus maintenant. Elles auraient amené probablement des conclusions très-différentes, si l'auteur avait pu connaître alors les propriétés des équivalens chimiques : on sait à présent que les silicates d'alumine sont plus réfractaires que les silicates de magnésie ;

8° Que les terres réfractaires qui donnent des scories épaisses, comme la barite et le spath fluor pris isolément, ou le mélange de chaux et d'alumine, enveloppent de petites parties de fer réduit et les préservent de l'influence du carbone : on obtient par conséquent du fer malléable, qui ne peut se fondre ni se former en culot ; cet obstacle va en diminuant avec la quantité de ces flux, et à mesure qu'on augmente le degré de chaleur ;

9° Qu'avec des fondans dont le verre, quoique moins visqueux, ne jouit pas d'une assez grande fluidité, on obtient encore du fer en grenaille, et l'on perd une petite quantité d'oxide entraînée dans les scories.—Dans ces flux, il y a toujours excès de silice ;

10° Que les substances très-fusibles, comme les alkalis, le sel marin, etc., enduisent le fer d'une couche vitreuse avant qu'il soit désoxidé ; parce qu'elles se liquéfient tout de suite, ce qui est un obstacle à la réduction : on le fait disparaître, en employant une plus faible dose de ces matières, en les faisant évaporer à une chaleur prolongée, enfin en substituant le protoxide au peroxide ;

11° Qu'on peut corriger les flux qui sont trop fusibles, en les imbibant d'huile de lin ;

12° Que le sel marin prédispose les autres flux à absorber l'oxide, ce qui rend les essais plus incertains ;

13° Que le gypse ou sulfate de chaux, produit un mau-

vais effet, quoiqu'à un moindre degré que les sulfates alkalins, et qu'il attaque quelquefois le creuset;

14° Que l'on diminue l'influence nuisible du gypse par une addition d'autres terres, susceptibles de l'entraîner en vitrification; que dans la réduction du protoxide, la présence de l'acide sulfurique est moins désavantageuse que les autres corps, sous le rapport de la quantité du produit;

15° Que les cendres d'os mêlées avec des substances qui les vitrifient, ne peuvent empêcher la réduction, mais qu'elles rendent le fer cassant à froid, et augmentent le poids du régule, à cause du phosphore qui est absorbé;

16° Que les oxides métalliques qui se réduisent facilement, mais dont les métaux n'ont pas une grande affinité pour le fer, nuisent aux essais; que pour cette raison, il faut user de beaucoup de ménagement, lorsqu'au moyen de la litharge, on vent rendre fusible une gangue réfractaire;

17° Que les oxides métalliques difficilement réductibles, mais dont les métaux peuvent s'allier au fer avec facilité, comme l'antimoine et le manganèse, sont désoxidés en même temps que le fer, et font partie du culot; à moins que le flux, doué d'une grande affinité pour ces oxides, ne les entraîne en vitrification.

430. Si maintenant on applique ces faits aux essais par la voie sèche, il en résulte qu'on doit éviter les flux alkalins, et n'employer que des substances qui donnent, avec les terres contenues dans les minérais, des laitiers d'une consistance moyenne. Les minérais riches se traiteront avantageusement avec une addition de dix pour cent de spath fluor et une égale dose de borax calciné. S'ils contiennent une plus grande quantité de terres, leur flux peut se composer de 25 pour cent de spath fluor et d'autant de chaux pure. Lorsqu'ils sont très-pauvres, il faut ajouter à ces matières encore dix pour cent de

borax calciné. Si cependant ils contiennent beaucoup de chaux et très-peu de silice, on emploiera 25 p. % de quartz pur, réduit en poussière et autant des spath fluor.

Le degré de chaleur employé pour la fusion, doit être en rapport avec la dureté du minérai, avec la difficulté qu'on éprouve à le briser et à le convertir en poussière.

Schlütter, Cramer, Gellert et tous les anciens métallurgistes, recommandent particulièrement les flux noirs et les blancs, composés en différentes proportions, de tartre, de salpêtre, de verre pulvérisé, etc. D'après les expériences de Gadolin, ils conduisent souvent à des résultats incertains et erronés. Guyton-Morveau propose 16 parties de verre pilé non métallique, 2 de borax calciné et 1 de poussière de charbon; Kirvan, 5 parties de chaux, 5 de spath fluor et 4 de poussière de charbon; Chaptal, 20 parties de borax calciné, 2 de chaux et 10 de salpêtre. Bergmann ne fit usage que de borax calciné; ce flux suffit pour le traitement des minérais non réfractaires. Les silicates purs se réduisent très-bien, d'après mes expériences, avec 25 p. % de spath fluor et 25 p. % de chaux pure. Quelquefois aussi on peut n'employer que cette dernière.

431. Les essais par la voie sèche indiquent seulement la richesse du minérai, mais ils ne donnent aucun renseignement sur sa composition, qui ne peut être déterminée que par les analyses.

432. Quand un minérai est inconnu, on cherche d'abord à le classer (338 et suiv.). S'il est magnétique avant le grillage, il contient du protoxide de fer combiné soit avec le peroxide, soit avec la silice, soit avec l'oxidule de chrome, soit avec l'acide titanique; s'il n'est attirable à l'aimant qu'après le grillage, il ne peut constituer qu'un fer spathique ou bien un protocarbonate argileux; s'il ne manifeste point d'action sur l'aiguille aimantée ni avant ni après le grillage, il appartient aux peroxides ou aux fers argi-

leux, ou bien aux fers siliceux. Dans le dernier cas, il pourrait cependant contenir de l'oxidule de fer, mais alors le fer siliceux ne serait pas un sous silicate.

On essaie ensuite le minérai avec l'acide hydrochlorique, après qu'il a été réduit en poudre impalpable. Si la dissolution ne laisse point de résidu et qu'il ne s'échappe point de bulle gazeuse, le minérai est un oxide pur, qui toutefois peut contenir encore de l'acide phosphorique et de l'acide arsenique: le dégagement des bulles ou l'effervescence n'aurait lieu qu'avec les fers spathiques et les carbonates argileux, qui diffèrent par leur texture, l'un est terreux ou lithoïde et l'autre lamelleux. Si la dissolution présente un résidu considérable et qu'elle ne fasse pas effervescence, le minérai doit être rangé parmi les fers argileux bruns ou rouges. Si en même temps le résidu est parfaitement blanc et gélatineux, la silice est combinée avec le fer oxidé, et forme un sous silicate; mais ce résidu doit alors être très-volumineux.

Si l'acide ne dissout qu'une petite quantité de fer sans altérer d'une manière sensible la couleur du minéral, ce dernier constitue soit un silicate de fer, soit un fer chromé, soit un fer titané; mais le premier, qui est plus commun, se distingue facilement des deux derniers, en ce qu'il est terreux ou lithoïde, et qu'il ne jouit point de l'éclat métallique.

Il existe des fers argileux et des protocarbonates argileux, qui laissent dans la dissolution une poudre noire. Ces minérais, contenant du charbon libre, changent de couleur par la calcination, ce qui les empêche d'être confondus avec le véritable fer siliceux.

433. L'acide hydrochlorique peut surtout servir à faire juger du degré d'oxidation du fer, par l'aspect de la dissolution. Une couleur vert-pâle indique toujours la présence du protoxide; si le liquide paraît incolore, le protoxide de

fer est combiné avec un acide dans le minérai. L'oxide jaunit la liqueur. Un dégagement de chlore annonce de l'oxide de manganèse libre; car cet oxide combiné avec d'autres substances ne fait pas dégager de chlore.

L'existence des pyrites est toujours révélée par l'odeur du gaz hydrogène sulfuré qui s'échappe de la dissolution.

Le gypse et le sulfate de baryte doivent être cherchés dans le résidu; souvent on les distingue à l'œil, lorsqu'ils ne sont pas mélangés trop intimement avec le minérai. — Le fer chromé et le fer titané ne passent pas non plus dans la liqueur.

Le phosphate de fer, le phosphate de chaux et l'arseniate de fer, se dissolvent entièrement; mais le dernier se rencontre très-rarement. Pour s'assurer de la présence de l'acide phosphorique, on dissout le minérai dans l'acide sulfurique, ayant soin d'éviter le plus possible l'emploi d'un excès d'acide, qu'au surplus on neutralise avec un peu d'alkali: le liquide étendu de beaucoup d'eau et laissé en repos, forme un précipité qui est un phosphate de fer. Nous devons observer cependant que cette méthode est défectueuse.

434. En procédant à l'analyse des minérais, on détermine d'abord les contenus d'eau et d'acide carbonique. Presque tous attirent l'humidité de l'atmosphère; on doit donc les dessécher à la température de 100° avant de les peser.

La quantité d'eau combinée avec un peroxide de fer pur, se détermine facilement par la calcination, ou pour mieux dire par la perte de poids qui en résulte. Si le minérai contenait aussi de l'acide carbonique et du protoxide de fer, la différence des poids obtenus indiquerait pour cet acide et l'eau, une quantité trop faible; parce que le protoxide absorbe de l'oxigène et devient plus pesant. Pour connaître les proportions des deux corps, on détermine la quantité d'acide carbonique par un essai particulier, et

l'on dose l'eau approximativement, en soustrayant le poids de l'acide de la différence des poids résultant du grillage. Si le minérai, contenant du protoxide de fer, ne renfermait que de l'eau combinée avec du peroxide, on ferait le dosage du liquide par la calcination avec assez d'exactitude: le minérai se peserait dans la cornue de verre qui servirait à le griller, et qui serait ensuite exposée long-temps à la chaleur rouge.

435. Les fers spathiques purs ne contiennent jamais de l'eau combinée, mais il y existe toujours entre les lames une petite quantité de ce liquide qui peut s'élever à 0,5 p.% et qui s'échappe par l'action de la chaleur, en produisant un pétillement semblable à celui du sel marin.

On détermine la quantité d'acide carbonique par deux procédés différens. Le minérai pulvérisé, desséché et pesé d'abord, se dissout à froid dans l'acide hydrochlorique; la perte qui en résulte indique le contenu d'acide carbonique. On opère dans une cornue de verre très-légère et pourvue d'un col allongé. On y verse l'acide hydrochlorique au moyen d'un entonnoir assez long, pour atteindre au fond, afin qu'il ne s'attache point de liquide aux parois du vase: ce n'est qu'après que l'acide a été pesé dans la cornue même, qu'on y introduit le minérai.

Ce procédé n'est pas très-rigoureux; 1° parce que le minérai ne peut se peser dans la cornue et qu'il en résulte une légère perte; 2° parce que l'acide carbonique, en s'échappant, entraîne une certaine quantité d'eau; et 3° parce qu'une partie de l'acide carbonique reste dans le vase et même dans la liqueur. Bien que ces causes d'inexactitude soient quelquefois diminuées l'une par l'autre, elles peuvent produire une erreur notable.

Le deuxième procédé, qui admet une plus grande précision, exige l'emploi d'un tube parfaitement calibré et gradué par millimètres. On verse du mercure pur dans

le tube, on le remplit ensuite avec l'acide hydrochlorique, et on le retourne dans le bain de mercure. Pour empêcher qu'il n'y passe des bulles d'air, on peut remplir le tube de mercure, le renverser avec soin et y introduire ensuite, sous le bain de mercure, la quantité d'acide voulue. On y fait passer de la même manière le minérai, après avoir remarqué la division où s'arrête la colonne d'acide. On ne peut essayer de cette manière que de très-petites quantités de minérai. Si ce dernier doit être pulvérisé, on l'enveloppe dans du papier à filtre, très-fin, mais il vaut mieux l'employer en petits fragmens de la grosseur d'une lentille, ou plus petits encore, parce que le papier s'attache souvent aux parois du tube et nuit alors à l'action de l'acide. Lorsque la dissolution est terminée, on rétablit le niveau entre les deux colonnes de mercure, ou bien on réduit le volume du gaz.

Si par exemple, au moment de l'opération, le baromètre marquait 74^{cent}, que le tube eût 50 centimètres de hauteur au-dessus du niveau du mercure, que le gaz occupât 40 centim. et le mercure 10 centim., dans cette hypothèse, dis-je, le gaz serait comprimé par une colonne de $(74-10)$ centim. de mercure. Pour avoir ensuite son volume à une pression de 76 centim.; car c'est à cette pression qu'on rapporte toujours les gaz, on établit la proportion

$$x : 40 :: 74-10 : 76,$$

ce qui donne $x = 40\,\frac{74-10}{76}$.

On fait ensuite la rectification relative au thermomètre, en partant du principe que le volume du gaz pris à 0 degré du thermomètre, s'étend de 0,00375 par chaque degré de température. Soit $\pm t$ le nombre de degrés au moment où l'on opère, et soit v le volume du gaz réduit à 0 degré de température, x étant le volume à t degrés, on aura

$$v \pm 0{,}00375tv = x \quad \text{d'où} \quad v = \frac{x}{1 \pm 0{,}00375\,t}.$$

Lorsque le volume du gaz est déterminé de cette manière, par rapport à une hauteur barométrique de 76 centimètres et pour o degré du thermomètre, et qu'on veut avoir son poids, on multiplie le poids d'un même volume d'air atmosphérique par 1,524, nombre qui exprime la pesanteur spécifique de l'acide carbonique. L'acide hydrochlorique retient encore un volume de gaz égal à la moitié du sien. On doit donc ajouter le poids de ce petit volume à celui qui a été obtenu précédemment.

Après qu'on a dosé les quantités d'eau et d'acide carbonique, on cherche à déterminer les autres parties constituantes du minérai. S'il contient du protoxide et du peroxide, on en devrait évaluer les doses par la différence entre le poids du minérai et celui de toutes les parties constituantes; puisque, par la marche de l'opération, le protoxide passe toujours au summum d'oxidation. Mais on ne peut opérer avec une pareille précision, surtout lorsque le minérai renferme de l'eau. On détermine le contenu de protoxide, en le précipitant par le double cyanure rouge, ou bien en précipitant une dissolution de muriate d'or, par la liqueur qui renferme le protoxide de fer: on calcule ensuite, au moyen de la quantité d'or obtenue, celle de ce protoxide; mais l'une et l'autre méthode présentent beaucoup de difficultés dans la pratique; elles exigent toujours un essai particulier, et ne peuvent s'employer lorsqu'il reste encore des bases terreuses ou métalliques dans la dissolution.

Il existe un autre moyen qui, moins rigoureux que les deux précédens, peut suffire dans le plus grand nombre des cas. On dissout le minérai dans un excès d'acide hydrochlorique; la dissolution passée au filtre et étendue d'une grande quantité d'eau, se traite, à une très-basse température, par une dissolution aqueuse de carbonate de potasse ou d'amoniaque, qu'on ajoute successivement, et en remuant, jusqu'à ce que la teinture de tournesol rougie, commence

à devenir bleue. On reprend le liquide tout de suite sur le filtre, on lave le résidu, sans discontinuer, avec de l'eau froide, on verse de l'acide nitrique dans la liqueur filtrée, et on la concentre par l'évaporation, pour changer le protoxide en peroxide. A 144,25 parties de peroxide correspondront 129,47 parties de protoxide. Pour déterminer la dose d'oxide contenu dans la liqueur et combiné souvent avec l'oxidule de manganèse, la chaux et la magnésie, on opère par les moyens que nous allons indiquer.

Les dosages des deux oxides se font toujours par un essai particulier, attendu que dans l'analyse générale, le protoxide ne peut manquer de se changer en peroxide, et que ce changement devient d'ailleurs nécessaire, parce qu'on ne peut séparer les matières étrangères du fer oxidé, qu'en le portant au summum d'oxidation.

436. Pour dissoudre les minérais de fer, on emploie l'eau régale, afin de convertir le protoxide en peroxide. On opère à la chaleur de l'ébullition.

Nous supposerons d'abord que le minérai soit soluble dans l'acide, sans être traité par la potasse. Le résidu sera alors très-petit et se composera seulement de fragmens quartzeux ou de gangue. Quelquefois on obtient aussi un peu de silice gélatineuse: séparée du liquide par le filtre, elle doit être lavée, calcinée et pesée. La dissolution peut contenir du peroxide de fer, de l'oxidule de manganèse, de la chaux, de la magnésie, de l'alumine, de l'acide sulfurique, de l'acide phosphorique, des traces d'oxide de chrome et d'acide titanique. On ferait un essai particulier, si l'on présumait la présence d'autres métaux dans le minérai: il faudrait le dissoudre dans l'acide hydrochlorique, étendre d'eau la dissolution et la faire traverser par un courant de gaz hydrogène sulfuré. Si le minérai contenait effectivement du cuivre, de l'étain, de l'antimoine, du plomb et de l'arsénique, on chercherait ces métaux

dans le précipité (335). Le contenu d'acide sulfurique se déterminerait par le procédé indiqué au paragraphe 331.

La dissolution d'eau régale, dans laquelle l'acide doit être en excès, est étendue d'abord de beaucoup d'eau, et traitée ensuite par des additions successives d'une dissolution aqueuse de carbonate d'amoniaque, jusqu'à ce que la liqueur soit incolore. Le précipité (A) qu'on obtient par la filtration, et après une lessivation continuée sans interruption, renferme le peroxide de fer, l'acide phosphorique, l'alumine, le protoxide de chrome et l'acide titanique; tandis que la liqueur (B) contient presque tout le protoxide de manganèse, la chaux et la magnésie (334). Si l'on opère avec beaucoup de précaution, on peut négliger sans erreur quelques traces de protoxide de manganèse qui se précipitent avec le fer.

Le précipité (A) enlevé du filtre, calciné et pesé, se dissout, à la chaleur de l'ébullition, dans l'acide hydrochlorique et se verse ensuite de la cornue dans un vase de platine ou de porcelaine, après qu'on en a séparé la petite quantité de silice, qui se présente toujours sous forme de gelatine et qui peut renfermer de l'acide titanique. La liqueur acide, traitée ensuite par une dissolution aqueuse de potasse ou de soude, qu'on y verse avec excès, reste exposée quelque temps à une douce chaleur. Si le minérai ne contient que peu d'acide phosphorique, ce qui a lieu pour tous les minérais qui ne constituent pas un phosphate de fer, l'alkali ne retient que l'alumine, et tout le contenu d'acide phosphorique demeure combiné avec du peroxide de fer. On sépare par conséquent de la dissolution alkaline le peroxide et le phosphate de fer par filtration. On sature la liqueur avec l'acide hydrochlorique et l'on précipite l'alumine par le carbonate d'amoniaque. Le poids de l'alumine soustrait de celui du précipité (A), donne le poids du peroxide de fer (C), après qu'on en a déduit celui de l'a-

cide phosphorique, qu'on détermine par une opération particulière. Mais, si le minérai contenait plus de 1 p. % d'acide phosphorique, il serait à craindre qu'une partie de cet acide ne fût combinée avec l'alumine, et dans ce cas la liqueur alkalisée ne devrait pas être traitée par l'acide hydrochlorique. Il vaudrait mieux qu'elle fût décomposée par une dissolution d'ammoniaque caustique, bien qu'une partie d'alumine se dissout dans cet alkali.

Si le minérai ne contenait que du peroxide, son poids (C) serait trouvé. S'il ne contenait que du protoxide, on calculerait la quantité de protoxide qui correspondrait au poids du peroxide (C) (435). S'il contenait du protoxide et du peroxide, on déterminerait par un essai particulier le contenu de peroxide qu'on soustrairait du poids (C) et l'on calculerait ensuite la quantité de protoxide qui correspondrait à la différence obtenue.

On ajoute à la liqueur B quelques gouttes d'acide hydrochlorique pour l'aciduler, on la met en ébullition pour chasser l'acide carbonique en entier, on la neutralise après le refroidissement par l'ammoniaque caustique, et on la traite par des additions successives d'oxalate d'ammoniaque, jusqu'à ce que ce dernier cesse de la troubler. On doit ensuite la laisser en repos, à une très-douce chaleur, au moins vingt-quatre heures avant de la filtrer. Le residu blanc qu'on recueille sur le filtre, se lave et se déssèche dans un creuset découvert, chauffé jusqu'au rouge. La calcination doit cesser lorsque l'ignition s'est répandue dans toute la masse; l'oxalate de chaux s'est changée alors en carbonate. Si la matière était encore colorée, on en conclurait que la liqueur n'était pas suffisamment étendue d'eau, et qu'il s'est fait un léger précipité d'oxalate de manganèse. A 100 parties de carbonate de chaux correspondent 56,39 parties de chaux pure qu'on doit prendre en compte.

On ajoute maintenant à la liqueur dont on a séparé la chaux, de l'hydrosulfate d'ammoniaque par gouttes successives, jusqu'à ce qu'elle n'en soit plus troublée; elle reste ensuite en repos, afin que le sulfure de manganèse puisse se déposer. Ce dernier, recueilli sur le filtre, doit être desséché et dissous, à la chaleur de l'ébullition, dans l'acide hydrochlorique concentré; il se forme presque toujours un léger dépôt de soufre. On emploie après cela, opérant toujours à la même température, le carbonate de potasse, pour précipiter l'oxide de manganèse, qu'on obtient par filtration, et que l'on calcine long-temps; il est composé de protoxide et de peroxide. Son poids serait compté en entier, si le minérai renfermait de l'oxide de manganèse libre (433). On réduirait ce poids à celui du protoxide correspondant, si le minérai contenait du protoxide de manganèse. 2734,71 parties de protoxide correspondent, ou peuvent donner naissance, à 2934,71 parties de protoxide combiné avec du peroxide.

Il reste encore à retirer la magnésie de la liqueur dont on a séparé l'oxide de manganèse. Acidulée pour cet effet par l'acide hydrochlorique, elle est mise en ébullition, afin que l'hydrogène sulfuré puisse se dégager en entier. On la filtre, si elle laisse déposer du soufre: l'ayant étendue de beaucoup d'eau, on la doit concentrer par l'évaporation. On la transvase ensuite dans un creuset de platine, et on la traite par le carbonate de potasse, ayant soin de n'en verser d'abord que la quantité strictement nécessaire pour décomposer les sels d'ammoniaque; mais plus tard on en ajoute davantage, jusqu'à ce que le liquide devienne fortement alkalin. Il est essentiel que ces additions ne soient jamais assez fortes pour faire cesser l'ébullition, et qu'on remue sans discontinuer, jusqu'à ce que l'évaporation soit faite à siccité; on verse alors assez d'eau pour dissoudre les sels alkalins. La magnésie se précipite; enlevée du

filtre, lavée, desséchée et calcinée à une très-forte chaleur rouge, elle est pesée et portée en compte. On peut aussi, procédant d'une autre manière, faire évaporer à siccité la liqueur contenant la magnésie, chasser les sels d'ammoniaque par la calcination, dissoudre ensuite dans l'eau le résidu contenant la magnésie combinée avec des acides, et la précipiter à la chaleur de l'ébullition par le carbonate de potasse.

Si le minérai contenait un alkali, il resterait avec la magnésie: le dernier procédé serait dans ce cas fort commode pour le dosage de cet alkali. On ne doit pas employer une trop forte chaleur, pour déterminer l'évaporation des sels volatiles, afin qu'ils ne puissent entraîner une certaine partie de magnésie et d'alkali.

437. Les fers argileux et les carbonates argileux laissent, par la dissolution dans l'eau régale, un résidu qui constitue un silicate d'alumine combiné accidentellement avec de petites quantités de chaux, de magnésie, d'oxide de fer et d'oxide de manganèse. Après que le poids de ce résidu (D) lessivé, desséché et calciné préalablement, a été bien déterminé, on lui ajoute 3 à 4 fois autant de carbonate de potasse, et l'on fait un mélange intime des deux substances, qu'on liquéfie sur la lampe, dans le creuset de platine. — Si le silicate d'alumine ne renferme point d'autres corps, la masse fondue se dissout presque entièrement dans l'eau versée abondamment. On sature ensuite la liqueur alkaline avec l'acide hydrochlorique, et l'on procède avec soin, pour éviter l'effervescence et la perte qui en résulte; on ajoute de l'acide jusqu'à ce que toute la matière ait passé dans la liqueur. — Si l'on obtenait un résidu sablonneux, on pourrait en conclure que la fusion avec la potasse a été incomplète. Quelquefois le résidu est gélatineux, dans ce cas la silice n'a point échappé à l'action de la potasse pendant la fusion; mais la masse fondue n'a pas été détrempée

tout de suite dans une assez grande quantité d'eau. — La liqueur, un peu sursaturée d'acide, doit être évaporée à siccité dans un creuset de platine, jusqu'à ce que le résidu devienne pulvérulent; il est essentiel qu'on remue sans discontinuer. On humecte ensuite la poussière avec quelques gouttes d'acide hydrochlorique, et l'on y verse de l'eau. La silice se présente alors en poudre blanche, dont l'incohérence et la blancheur augmentent encore par la calcination. Cette terre serait impure si elle se frittait par l'impression de la chaleur.

La liqueur dont on a séparé la silice, contient encore de l'alumine, de la chaux, de la magnésie, de l'oxide de fer et de l'oxidule de manganèse. Pour doser ces diverses substances, on peut employer les procédés que nous avons indiqués précédemment. Le plus souvent on ne trouve, outre l'alumine, que des traces de fer, de manganèse et de magnésie: il suffit alors de neutraliser cette liqueur avec de l'ammoniaque caustique qui ne précipite que l'alumine et l'oxide de fer. Si le précipité obtenu est blanc, et si la calcination ne le colore que très-faiblement en jaune, il ne renferme que de l'alumine et son poids doit être porté en compte. Mais si le précipité laisse apercevoir un contenu de fer, on le dissout, à la chaleur de l'ébullition, dans l'acide hydrochlorique, après qu'il a été calciné et pesé, et on le traite par la potasse caustique, ainsi que nous l'avons indiqué : lorsqu'on est parvenu à connaître le poids de l'oxide de fer, on le soustrait de celui de la terre impure obtenue, et le reste donne le poids de l'alumine.

438. De petites quantités d'acide titanique et d'oxidule de chrome, échappent facilement aux recherches. L'acide titanique reste avec la silice, lorsque le résidu (D) (437) mélangé avec l'alkali, mis en fusion, détrempé dans l'eau et dissous dans l'acide hydrochlorique, a été évaporé à siccité *par l'emploi d'une forte chaleur.*

Pour s'assurer de l'existence de l'acide titanique dans la silice, on peut la fondre avec le carbonate de potasse, détremper la masse fondue dans une grande quantité d'eau, dissoudre ensuite le résidu, qui renfermerait l'acide titanique, dans quelques gouttes d'acide hydrochlorique, et traiter la dissolution étendue d'eau par l'hydrocianate de fer et de potasse, ou par l'acide gallique. L'un de ces réactifs produit, par la présence de l'acide titanique, une belle couleur vert foncé, et l'autre, un précipité volumineux brun rougeâtre.

La recherche de l'oxidule de chrome présente aussi de très-grandes difficultés. On ne connaît guère d'autres moyens que de fondre les minérais ou les résidus dans lesquels on soupçonne l'existence de ce corps, avec la potasse, de le convertir en acide chromique et de chercher ensuite ce dernier dans la liqueur alkaline de la même manière que l'acide phosphorique. Au reste, nous avons indiqué précédemment (332) les procédés qu'on peut employer, pour trouver et doser *de petites quantités* de chrome et d'acide phosphorique.

Quand on veut déterminer le contenu d'oxide de chrome, et qu'on fond le minérai avec le carbonate de potasse, pour en séparer d'abord la silice, on doit avoir soin de le réduire en poudre impalpable, de mélanger intimement les deux substances et de produire une liquéfaction parfaite. Si le minérai contenait *beaucoup de chrome*, on serait obligé de faire plusieurs fusions successives, et de réunir les liqueurs alkalines, qui, sursaturées d'acide hydrochlorique, sont évaporées à siccité. Le résidu pulvérulent doit être fortement humecté d'acide hydrochlorique, détrempé dans l'eau et pris ensuite sur le filtre. La liqueur filtrée et débarrassée de la silice, se neutralise avec l'ammoniaque caustique : si dans cette opération, il se sépare des flocons d'alumine, ils doivent être redissous par un excès

d'acide acétique. Après cela, on précipite l'acide chromique et l'acide phosphorique, par l'acétate de plomb. La couleur du précipité annonce toujours la présence de l'acide chromique, qu'on sépare de l'acide phosphorique par les moyens indiqués au paragraphe 332.

439. Enfin si le minérai est tout-à-fait insoluble dans les acides, ou si ces derniers ne peuvent en extraire qu'une petite quantité d'oxide de fer, on est obligé de le mettre en fusion avec la potasse par le procédé connu (436 et 437). Le fer chromé doit être fondu plusieurs fois avec l'alkali, avant que l'oxidule de chrome se convertisse en acide. Ce changement est effectué quand le résidu cesse de colorer la potasse en jaune, pendant la fusion. On réunit toutes les liqueurs alkalines, et on les essaie sous le rapport de la silice et de l'alumine qu'elles peuvent contenir. Le résidu insoluble obtenu après la dernière fusion avec l'alkali, doit être dissous dans l'acide hydrochlorique auquel on ajoute plus tard un peu d'acide nitrique, pour changer le protoxide de fer en peroxide, à la chaleur de l'ébullition. L'oxide de manganèse, la chaux et la magnésie seraient dissous dans la liqueur, si le minérai contenait ces substances.

Le fer titané, fondu avec trois fois son poids de carbonate de potasse ou de soude, devient ordinairement soluble dans l'acide hydrochlorique. Si cependant il laissait un résidu, on traiterait ce dernier une seconde fois par le carbonate de potasse; on réunirait les dissolutions acides et l'on séparerait le fer du titane, par les moyens indiqués au paragraphe 333. Mais on ne doit pas oublier que le sulfure de fer peut contenir encore du manganèse, et que dans les résidus obtenus par l'incinération, il peut exister de l'alumine, de la chaux et de la magnésie.

440. On n'emploie ordinairement qu'un et demi à deux grammes de minérais, pour faire des analyses exactes; de

plus fortes doses occasionneraient des embarras, sur-tout par la présence d'une grande quantité d'alumine.

DE L'EXTRACTION ET DE LA PRÉPARATION DES MINÉRAIS.

441. Aucun métal ne se trouve répandu dans la nature avec autant de profusion que le fer; il appartient aux formations anciennes et aux formations modernes. Dans les terrains primitifs et de transitions, il est en *filons*, en *masses* et en *couches*; dans les terrains secondaires, il est en couches plus ou moins régulières; dans les terrains d'alluvion, il se présente en amas et en rognons.

Le bas prix du fer, le développement qu'il faut donner aujourd'hui à la préparation de ce métal, pour en retirer des bénéfices, et les immenses consommations de minérais qui en résultent, s'opposent souvent au traitement de ceux qu'on découvre; il ne suffit point d'en connaître la richesse, on doit s'assurer encore des frais d'exploitation de la mine et des ressources qu'elle présente pour l'avenir. Il est important d'y mettre la plus grande économie. Le fer ne peut supporter les frais considérables qu'entraînerait un plan d'opération, ordonné selon les principes de l'art, pour les travaux d'arrachement, l'épuisement des eaux, la constructiou des galeries; on serait forcé quelquefois d'abandonner les mines, s'il n'était possible de les exploiter autrement que par des méthodes régulières.

Observons toutefois, que la régularité dans les travaux diminue toujours les dépenses; mais vouloir arriver à une exploitation parfaite, sans laisser de minérai en arrière, comme on le fait pour d'autres métaux, ce serait tellement multiplier les dépenses, que beaucoup d'usines y perdraient leurs bénéfices. Nous distinguons ici une opération conduite avec ordre et prévoyance, des procédés généraux prescrits et suivis dans l'art d'exploiter les mines, où il

s'agit moins d'éviter les frais que de se procurer tout le minérai renfermé dans les filons, masses, amas ou couches. Si, avec les règles de l'économie, on pouvait concilier une semblable rigueur, on ne ferait qu'ajouter à la perfection du travail. La manière de procéder dépend aussi de la richesse des minérais; lorsqu'ils contiennent beaucoup de fer, on peut et l'on doit apporter plus de scrupules dans ces opérations.

442. Les minérais qui, dans les roches primitives, se présentent en filons, ne peuvent faire l'objet d'une exploitation que dans le cas où ces filons ont une certaine puissance et que la forme du terrain facilite l'épuisement des eaux: ce sont, le plus fréquemment, les amas ou les couches qu'on exploite. Le mineur est souvent obligé de recourir dans son travail, à l'effet de la poudre et du feu. La routine et les localités déterminent sa manière d'opérer; quelquefois, aussi, c'est avec raison qu'il néglige les méthodes régulières: lorsqu'il s'agit, par exemple, d'attendrir le minérai par le contact de l'air atmosphérique.

443. Les travaux d'arrachement s'effectuent dans les roches secondaires, au moyen du pic, du marteau et de la pince; on laisse subsister des piliers, des supports séparés l'un de l'autre par des rameaux plus ou moins réguliers. A mesure qu'on se replie sur les puits, on enlève les piliers les plus éloignés: ce procédé doit s'employer lorsque les couches ont une certaine étendue et que leur toit est assez solide pour ne point exiger un boisage régulier. Le travail à ciel ouvert, pour les mines qui sont près de la surface du sol, est beaucoup plus économique.

Dans un terrain d'alluvion, ou pour des minérais disposés en rognons, on ne pourrait, sans beaucoup de dépenses, suivre le mode d'exploitation par piliers. Dans ce cas, on creuse plusieurs puits à peu de distance l'un de l'autre; on fait partir de leur centre de petits ra-

meaux, et l'on extrait tout le minérai qui est à l'entour. Cette manière d'opérer ne présente aucune difficulté, pour des amas d'une certaine puissance ou pour des mines situées à une faible profondeur: elle devient plus facile encore lorsqu'on peut y joindre l'exploitation à ciel ouvert. Mais si le contraire a lieu, et que l'épuisement de l'eau occasionne de trop fortes dépenses, on est souvent obligé d'abandonner les meilleurs minérais, lorsqu'ils sont à une grande profondeur et que le terrain manque de consistance. On ne pourrait alors établir des puits principaux sur la direction du gisement, et les joindre par une galerie boisée. Une pareille disposition n'est applicable que dans le cas où la mine se prolonge au loin, de sorte que cette galerie peut servir à la fois pour l'écoulement des eaux et pour la sortie du minérai. Sa qualité et sa richesse, la profondeur de son gîte, le prix des matières premières et de la main-d'œuvre, l'affluence de l'eau et d'autres circonstances, décideront si l'on peut opérer d'une manière aussi régulière, ou si l'on doit se contenter d'enlever une partie des amas et d'abandonner le reste.

444. La nature des terrains, dans les trois premiers ordres, indique presque toujours l'existence de la mine. C'est au moyen de coupures et de puits, que l'on juge ensuite si elle est susceptible d'exploitation. Il est plus difficile de la trouver lorsqu'elle n'est point couverte par le roc; dans ces cas on fait des fouilles: quelquefois, il suffit d'employer une sonde sans cuiller. C'est avec une broche de cette espèce qu'on va à la recherche des fers limoneux: la résistance qu'éprouve le mineur dans la manœuvre de la sonde, est un indice de la présence du minérai. Ce procédé, recommandable par une grande simplicité, sert aussi à découvrir quelquefois les fers argileux.

445. Les préparations mécaniques dont on fait usage pour séparer la gangue des minérais de fer, sont plus

simples que celles des autres minérais: elles consistent uniquement dans un triage à la main, qui, pour raison d'économie, ne doit pas être très-compliqué. Le bocardage ne conduirait pas à ce but, soit parce que les matières stériles ou nuisibles ne pourraient que rarement être éloignées de cette manière, soit aussi parce que les minérais pulvérisés ne seraient point sous une forme convenable pour être traités avec avantage dans les hauts fourneaux. On doit tâcher par conséquent qu'ils soient dans l'état de plus grande pureté possible en sortant des mines, dût-on quelquefois en perdre une certaine quantité. Malgré cela, on fait souvent encore près des haldes le triage à la main *, pour rejeter les pierres ou les parties pyriteuses; à cet effet, on les casse en petits morceaux, afin de les examiner dans leur intérieur.

Si la gangue exposée à l'air devient plus tendre et finit par se détacher, on profite de cet avantage, principalement pour les fers argileux; car l'argile molle et la schisteuse adhèrent si intimement à l'oxide, qu'on ne pourrait les en séparer par le triage qu'avec des frais considérables. Ce sont particulièrement les minérais pénétrés d'argile schisteuse qui doivent faire un long séjour près des haldes.

446. Le lavage n'a lieu que pour les fers limoneux, et pour les minérais qui, dans leur gîte, sont couverts de terre grasse. Cette opération enlève aux ocres les parties les plus fines et les plus fusibles; elle nuit à leur qualité, sans améliorer celle des minérais durs et solides. On tâche de l'éviter, même pour les fers limoneux, lorsqu'ils contiennent une grande quantité d'hydrates, quoique leur gisement et leur forme extérieure la rendent presque toujours

* On entend en allemand par le mot *halde*, le lieu où le minérai est déposé pour subir l'opération du triage et de la décomposition spontanée; ce mot a été francisé et détourné de sa véritable acception: il ne signifie plus que les tas de minérais rebutés. Le T.

indispensable. Elle se pratique ordinairement sur les lieux mêmes de leur extraction.

Le triage, le lavage, le séjour à l'air servent donc à préparer les minérais, avant qu'ils soient livrés aux usines.

Du grillage et du bocardage.

447. La première opération que, dans les usines, on fait subir au minérai, c'est le *grillage*. Les raisons qui l'exigent, ont été exposées ci-dessus, aux paragraphes 401, 402. Il n'y a que les minérais tendres et non pierreux qui n'en aient pas besoin; mais on doit les conserver à couvert, sous des hangars, ou les sécher avant de les employer; afin de ne pas introduire dans les hauts fourneaux, l'eau qu'ils absorbent par leur séjour à l'air humide: cette précaution devient indispensable dans les temps de pluie. Les minérais grillés, lorsqu'ils ne sont pas fondus tout de suite, doivent être soignés de la même manière.

448. Les morceaux qu'on veut griller ne doivent pas être trop volumineux, autrement ils conserveraient un noyau cru, qui, pour participer à l'altération qu'on a en vue de produire, exigerait un degré de chaleur si élevé, qu'il ferait entrer les parties extérieures en vitrification (404). Le volume dépend de la nature même des minérais; mais il ne doit jamais excéder celui de 30 décimètres cubes.

449. On ne devrait pas griller les minérais pyriteux, avec ceux qui ne sont point souillés de soufre; parce que l'acide sulfurique, à mesure qu'il se formerait, pénétrerait toute la masse. La chaleur doit se graduer en général, d'après la composition et la dureté de ces substances minérales: elle doit être faible pour les oxides purs, ainsi que pour ceux qui, mélangés d'une petite quantité de terre, se vitrifieraient à la température qu'il faut souvent appliquer aux fers argileux.

La perte que les minérais éprouvent par la calcination, dépend de la quantité d'acide carbonique et d'eau qu'ils retiennent à l'état de combinaison et de mélange. Le fer magnétique augmente en poids de 2 ou 3 pour cent, parce qu'il passe à un plus haut degré d'oxidation.

450. Le grillage se fait à l'air libre, ou dans une enceinte de maçonnerie, ou dans un fourneau: le premier de ces procédés est simple, mais défectueux. Après avoir aplani le sol, on le couvre de combustible (ordinairement de troncs d'arbres), sur ce gîte, on entasse par couches alternatives, le minérai et le bois, consistant ordinairement en branchages ou en copeaux; souvent aussi on le remplace par la charbonnaille *. L'épaisseur de ces couches dépend de la qualité du combustible, et du degré de chaleur que les minérais peuvent supporter, sans entrer en vitrification: on ne peut donc s'en rapporter qu'à l'expérience **. La hauteur et le diamètre d'un semblable tas sont assez indifférens; lorsqu'il est volumineux, il présente cependant une certaine économie de combustible.

On stratifie les minérais qu'on veut faire sécher seulement avec de gros fraisil, et l'on y joint un peu de branchages, pour ménager des jours dans l'intérieur de la masse et pour ne pas étouffer le feu.

451. L'emplacement où l'on veut griller les minérais, se ferme en partie par un mur, qu'on élève sur les trois faces les plus exposées au courant d'air, pour économiser le combustible, et pour donner un degré de chaleur plus uniforme; afin que les minérais tournés au vent ne se vitrifient point avant que la cuisson des autres soit termi-

* Menu charbon, plus gros cependant que le fraisil qui est en poussière. Le T.

** Les premières couches de minérai ont 18 à 20° d'épaisseur; les autres vont en diminuant. *Sidérotechnie d'Hassenfratz.* Le T.

née. Le sol de cette enceinte est pavé; on le couvre de branchages ou de copeaux, et l'on y dispose les minérais et le combustible comme précédemment. Dans certains endroits, on élève aussi un mur sur le quatrième côté.

On tâche de construire ces aires fermées sur un terrain en pente, afin d'en faciliter le chargement; cependant le sol doit toujours être horizontal. Les murs ont quelquefois 10 à 12 pieds d'élévation. Dans une des quatre faces, on pratique une porte qui est murée après la mise en feu: c'est par cette ouverture qu'on entre dans l'enceinte, soit pour y arranger les premières couches, soit pour en retirer les minérais grillés.

On doit établir des courans d'air et activer la combustion, si les minérais sont réfractaires ou imprégnés de soufre: en ce cas il faut pratiquer des ouvertures dans les quatre faces; c'est en même temps un moyen de conduire le feu, parce qu'on peut les fermer à volonté. Il serait inutile de parler de la forme des aires; elle est indifférente: on peut les faire rondes ou carrées.

Le combustible brûlé dans ces enceintes est d'ordinaire le charbon de bois. Le grillage dure 8 jours et davantage; on peut allumer par le haut, vers le milieu ou par le bas. Les morceaux de minérais les plus gros doivent être placés dans la première couche, les plus petits dans celles qui sont plus élevées, et la partie supérieure est couverte de poussière provenant de minérais grillés. Si le sol est humide, il faut y remédier par des canaux.

On établit quelquefois sur une seule ligne plusieurs enceintes séparées seulement par une de leurs faces. On ferait mieux de n'en avoir que deux et d'augmenter leur capacité: l'une d'elles serait mise en feu, pendant qu'on s'occuperait à vider l'autre; il en résulterait une économie.

452. Les fourneaux à cuve ou les fours à reverbère qui servent à griller le minérai, sont moins usités que les en-

ceintes ; cependant ils présentent un certain avantage, lorsqu'ils sont construits de manière qu'on puisse enlever le minérai par le fond, charger de nouveau et continuer le travail sans interruption. Ces fourneaux activés par le coke ou de petits charbons, ressemblent aux fours à chaux, (Pl. I, Fig. 1). En Silésie, dans les usines du Roi de Prusse, on leur donne $4^{m},40$ d'élévation, 2^{m} de diamètre à leur partie supérieure, $2^{m},35$ à leur plus grande largeur, et $0^{m},95$ près de la grille. On retire les minérais par des ouvertures pratiquées sur deux faces opposées, et fermées avec des briques, pendant toute la durée de l'opération. Pour augmenter la combustibilité des petits cokes, on leur ajoute un tiers de menue houille. On use d'un sixième à un cinquième d'une mesure de ce mélange, contenant 86 décimètres cubes, pour griller 160 kilogrammes ou 1,08 hectolitres cubes de minérais.

Au premier chargement du fourneau, on place sur la grille un peu de branchages et de houille en gros morceaux ; la cuve est remplie ensuite avec le combustible et le minérai, disposés par couches alternatives. On allume le bois placé sur la grille, et le feu se communique à toute la masse. Lorsqu'après une combustion lente, au bout de 24 heures, le minérai grillé commence à descendre, on le retire par les deux ouvertures dont il a été question. Ce travail continue jusqu'à ce qu'il se présente des fragmens au centre desquels la calcination n'ait pas pénétré ; alors on ferme ces ouvertures, et on remplit le fourneau une seconde fois avec du minérai et du charbon. Après 12 heures, on procède à une deuxième évacuation, et ainsi de suite. Le fourneau se vide chaque fois par moitié, et l'opération n'est jamais interrompue. La combustion doit être lente, ainsi que nous l'avons observé. Le tirage se fait par la grille : la porte du cendrier ne doit pas être très-spacieuse, et les barreaux sont séparés par de petits

intervalles. La cuve de ce fourneau est elliptique. En Angleterre les fourneaux à griller ont le plus souvent la forme d'un tronc de cône renversé sur la petite base, qui a de 90 à 100 centimètres de diamètre; la grande base a un diamètre de 2^m à $2^m,50$. L'opération est plus prompte dans cette espèce de foyers que dans les autres; mais ils paraissent occasionner aussi une plus grande dépense en combustible *.

453. Dans les fours à reverbère, le minérai n'est point en contact avec le combustible; il reçoit le degré de chaleur qui lui est nécessaire, par la flamme d'une ou de plusieurs chauffes, selon la capacité du fourneau. (Pl. I, Fig. 3 et 4) On ne peut donc activer ces foyers qu'avec le bois, la houille ou la tourbe en nature. Il ne faut pas craindre que le minérai puisse être vicié par la flamme de ces substances; mais le soufre contenu dans les pyrites, ne se dégage pas avec autant de facilité, que par le grillage à l'air libre ou dans les enceintes.

Ces fours à reverbère ont beaucoup d'analogie avec les fourneaux employés pour la fabrication de la porcelaine, ou de la poterie, lorsque cette dernière est cuite à la houille. On peut leur donner deux ou trois chauffes et faire les dispositions nécessaires pour alimenter la combustion avec le bois ou le charbon de terre. On fait évacuer les minérais comme dans le cas précédent; l'opération doit

* La quantité de houille brûlée dans ces fourneaux, qui sont en tout semblables aux fours à chaux sans grille, ne s'élève pas au-dessus de 5 p. %, si l'on opère sur des oxides rouges; j'en ai fait l'expérience: on emploie d'ailleurs la houille en poussière et le menu coke, qui ont peu de valeur dans les usines. Ajoutons que la forme de ces foyers évasés vers le haut, est la plus favorable pour le dégagement des gaz et de l'acide sulfureux. Ils me paraissent, pour cette raison, préférables à tous les autres: ce sont aussi les seuls employés en Angleterre.

Le T.

cesser, lorsqu'il s'en trouve qui n'ont pas été grillés suffisamment.

C'est une règle générale, quelle que soit la méthode suivie, qu'il faut toujours griller une seconde fois les minérais qui n'ont pas subi une altération complète.

454. Après avoir affaibli la cohésion dans les minérais, il est facile de les concasser. Nous avons exposé précédemment les motifs de cette opération (412). La gangue qu'ils peuvent retenir encore, s'en détache maintenant avec beaucoup de facilité; elle peut occasionner un déchet considérable, mais il est essentiel de l'éloigner de la fusion, par le triage le plus rigoureux.

On brise les minérais avec le marteau à main, avec un pilon fixé à l'une des extrémités d'un balancier et mis en mouvement à bras d'homme, ou au moyen de bocards mus par une machine. Le travail à bras d'homme est dispendieux, mais il permet un triage plus soigné. Le cassage se fait sur une plaque de fonte garnie d'un cadre en bois, qui sert à retenir les éclats. Les minérais durs sont concassés à l'aide d'un marteau à queue, qui ressemble aux martinets ordinaires; à l'aide de bocards mus par une roue hydraulique, par la vapeur ou des forces animales; enfin à l'aide de cylindres de fer.

DES FONDANS.

455. Ayant déjà expliqué l'effet que produisent les fondans (415—420), nous rappelerons seulement, que le but qu'on se propose par les additions de matières stériles, est de saturer, par des bases terreuses, la silice contenue dans les minérais ou de rendre les terres plus fusibles, soit en y ajoutant de la silice, soit en formant un plus grand nombre de silicates qui, se combinant ensemble, deviennent plus faciles à fondre.

Quand la silice manque, la température du fourneau doit être élevée à un plus haut degré, pour déterminer la fusion; la fonte devient alors grise et les laitiers sont peu colorés: si en même temps les minérais étaient pauvres, les engorgemens se formeraient par des masses demi-fondues, composées de fer réduit et de terres; si, au contraire, les minérais étaient riches, ce serait du fer affiné qui ferait naître ces engorgemens.

Un excès de silice produit toujours de la fonte blanche et du laitier pesant; si la chaleur n'est pas très-intense, le laitier devient corrosif, la fonte s'épaissit et le fourneau peut s'engorger, malgré la liquidité des scories.

456. Il en résulte que chaque minérai demande un fondant particulier, en dose déterminée. C'est en vertu de ce principe, que les métallurgistes ont désigné les minérais sous les noms de fer siliceux, argileux et calcaire. Le carbonate de chaux est ordinairement le flux employé pour le premier. On fait usage du quartz, mais le plus souvent d'une marne très-argileuse, quelquefois aussi d'une argile schisteuse, pour ceux dont la terre dominante est la chaux ou la magnésie. La quantité des flux ne peut être réglée que par l'expérience.

Il est assez vraisemblable que dans le choix des fondans, on manque souvent de lumières et de prévoyance, puisqu'on y fait entrer la chaux presque toujours comme partie essentielle.

457. Il faut éviter l'emploi du carbonate de chaux mélangé de gypse ou imprégné de pyrites, parce qu'il rend le fer rouverin. On doit préférer le calcaire argileux ou certaines espèces de marnes, à la chaux pure, lorsque les minérais ne contiennent que de la silice et de la chaux ou bien de la silice et de la magnésie, d'autant plus qu'à poids égal l'alumine sature une bien plus grande quantité de silice que ne le ferait la chaux; mais les minérais siliceux

et chargés d'argile doivent recevoir pour fondant de la pierre calcaire pure, afin qu'il ne se forme pas une trop grande quantité de silicate d'alumine qui est très-réfractaire.

On prétend que la pierre calcaire brute produit de meilleurs effets qu'une quantité proportionnelle de chaux. Il serait difficile d'expliquer ce fait pour la pierre à chaux pure; mais si elle était chargée d'alumine, on concevrait facilement que la cuisson pût produire des silicates, qui n'agiraient pas sur les terres renfermées dans le minérai avec autant d'énergie que de la chaux libre; au reste l'économie prescrit toujours l'emploi de la pierre calcaire brute.

458. Les fondans concassés en morceaux dont la grosseur est tout au plus égale à celle des morceaux de minérai, sont mêlés avec ces derniers. On peut employer des fragmens plus volumineux, en traitant des hydrates friables, qui, par leur tassement, ferment le passage à l'air. On les brise à la main, sous un marteau à bascule, ou sous le bocard; le deuxième moyen est préférable au dernier, parce que l'ouvrier est plus maître de conduire le travail et de réduire les matières à une grosseur déterminée. On peut aussi briser les fondans entre deux cylindres placés horizontalement.

459. Sans compter la pierre à chaux, l'argile, le quartz et la marne, il existe d'autres minéraux qu'on ne range pas précisément parmi les fondans, et qui pourtant accélèrent la fusion de certains minérais de fer, en même temps qu'ils augmentent la quantité des produits; tels sont le hornblende, le basalte, le wakke et le grénat *. Ils peuvent quelquefois remplacer les flux, et ils exercent une influence salutaire sur la marche du fourneau. Mais chargés de silice,

* L'amphibole, le basalte, la cornéenne et le grénat. *Haüy.* Le T.

ils font souvent blanchir la fonte, à moins qu'on ne leur ajoute de la pierre calcaire.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS DE FER.

460. Lorsqu'on veut réduire les minérais en petit, il suffit de les mêler avec de la poussière de charbon et de les exposer dans un creuset à une haute température. Cette méthode serait trop dispendieuse pour leur traitement en grand. On les soumet donc à l'action immédiate de la chaleur; ce qui, en général, peut s'exécuter de deux manières différentes: dans les fours à reverbère ou dans les fourneaux à cuve.

Le premier moyen exige la présence d'un réactif, qui puisse enlever l'oxigène que le fer retient avec tant d'énergie: bien que ce moyen soit pratiquable, il paraît pourtant plus dispendieux que le deuxième; parce que les terres mêlées aux minérais de fer sont en général très-réfractaires, lorsqu'elles ne contiennent point de silicate d'oxidule dont la destruction forme précisément le but de l'opération. Dans les fours à reverbère, les laitiers deviennent moins liquides qu'ils ne le sont dans les hauts fourneaux. Il s'ensuit que la séparation des matières, après que la réduction est achevée, doit être plus incomplète dans les premiers que dans les derniers. L'expérience a prouvé que dans les fours à reverbère, on peut obtenir de la fonte; mais on ne l'obtient que par une plus grande dépense en combustible, et par un mélange de minérai et de fondant qui donnent des laitiers très-fusibles. Il est rare qu'on puisse y produire de la fonte grise; parce que les scories chargées d'oxidule de fer, réagissent sur le fer cru et favorisent la production de la fonte blanche. On y remédierait en quelque façon par une forte addition de pierres à chaux; il en résulterait

alors une grande dépense en combustible : toutefois il est possible que des minérais qui sont très-riches en fer et pauvres en silice soient soumis à ce traitement sans désavantage *. Dans le plus grand nombre des cas, on préfère charger les minérais avec le combustible par couches alternatives, dans un fourneau à cuve. La séparation des matières s'effectue ensuite avec plus de facilité, parce qu'elles n'arrivent dans les régions où elles doivent se fondre, que préparées et par petites doses ; tandis que dans les fours à reverbère, toute la masse est soumise en même temps à la chaleur de la fusion. La quantité de minérai qui entre à la fois en liquéfaction, est en rapport direct avec la capacité du fourneau.

461. Ne connaissant pas les moyens de produire le haut degré de chaleur nécessaire pour opérer la séparation du métal et des substances terreuses, les anciens ne pouvaient utiliser que les minérais riches. Nous ignorons si, d'après leurs méthodes, les minérais et les charbons étaient placés par couches dans les fourneaux, ou si, mêlés ensemble, ils étaient exposés simultanément à l'influence du courant d'air. Suivant le premier de ces procédés, les minérais, fondus par petite quantité, peuvent donner un produit liquide, qui se rassemble en masse sur la sole du foyer. D'après le deuxième, la réduction ne se faisant que devant

* M. le comte Vandenbrœck a fait une série d'expériences en grand pour le traitement des minérais de fer, et des scories de forge, dans les fours à reverbère. Il en est toujours résulté une grande consommation de combustible. Cependant l'auteur croit pouvoir conclure de ces expériences que, par la suite, cette opération pourra devenir plus avantageuse que le traitement de ces substances dans les hauts fourneaux, quand on aura perfectionné le travail et la construction de ces foyers (Voyez, à ce sujet, le tome 11e des archives, année 1826, page 280 et suivantes).

On a fait aussi, aux forges de Chatillon, en 1827, des expériences sur le traitement des minérais de fer, dans les fours à reverbère, et l'on assure avoir obtenu des résultats satisfaisants. Le T.

la tuyère, la fonte, en même temps qu'elle se forme, est décarburée et convertie en fer ductile. Dans les fourneaux à cuve même, le fer cru obtenu par les anciens, devait passer en grande partie à l'état d'acier.

462. Les minérais pauvres ou réfractaires, fondus dans de semblables foyers, à un si faible degré de chaleur, ne donneraient point de fer; et si la réduction pouvait s'opérer partiellement, on n'obtiendrait qu'un faible produit, qui se trouverait accompagné de laitiers chargés de métal, et qui, par le courant d'air aussi bien que par la présence des oxides non réduits, se changerait en fer malléable.

Tant d'opérations diverses qui se succèdent immédiatement, ou qui ont lieu à la fois devant la tuyère, doivent occasionner un déchet considérable. Les méthodes à la catalane ou à l'italienne, que l'on pratique encore aujourd'hui, et qui consistent à fondre les minérais par morceaux devant la tuyère, pour en obtenir du fer ou de l'acier, en fournissent la preuve: il en sera question par la suite. En général la perte est proportionnelle à la quantité de silicate d'oxidule nécessaire pour liquéfier la masse des terres, à une température donnée. C'est aussi pour cette raison que les minérais, qui contiennent beaucoup de silicate de fer, donnent de si faibles produits par l'affinage immédiat, et que les anciens ne pouvaient traiter dans les bas fourneaux que des minérais riches. Les silicates neutres et purs seraient tout-à-fait intraitables dans ces foyers.

463. La fusion des minérais stratifiés avec les charbons dans les fourneaux à cuve présente donc un avantage réel. Ce procédé diffère essentiellement de l'affinage immédiat dans le foyers dits *à la catalane*. On serait dans l'erreur en pensant que ceux-ci ont pu donner naissance à ceux-là, et qu'ils ne diffèrent entr'eux que par leur hauteur.

Dans l'affinage immédiat, les minérais réduits, mais non fondus, sont travaillés par morceaux devant la tuyère; afin qu'il en résulte une oxidation partielle, que les terres puissent recevoir le silicate de fer nécessaire pour les entraîner en liquéfaction, et que d'un autre côté la combustion du carbone combiné avec le métal puisse s'opérer en entier. Tandis que dans les fourneaux à cuve, la réduction et la carburation se continuent sans interruption, jusqu'à ce que les diverses charges soient descendues au foyer de fusion. Si alors ils ne sont pas dans un état tel que la séparation des terres et du fer puisse avoir lieu instantanément, le fer se décarbure, une partie se combine de nouveau avec l'oxigène, et il en résulte un silicate de fer, qui détermine la liquéfaction des terres.

On ne pourrait le plus souvent opérer la fusion, si le minérai n'était pas stratifié avec le combustible. On a voulu quelquefois mélanger les deux substances, pour multiplier leurs points de contact et favoriser par conséquent la réduction; mais c'est un moyen d'arrêter le travail, à moins que les minérais, traités d'ailleurs dans de petits fourneaux, ne soient à la fois très-fusibles, et dans un état de pureté telle qu'ils ne contiennent que de l'oxigène et du carbone; et dans ce cas on n'obtient, au lieu de fonte, qu'un fer demi-affiné. L'élévation progressive qu'ont reçue les fourneaux à cuve, est une suite naturelle du traitement des minérais pauvres et réfractaires, dont on voulait obtenir de la fonte.

464. La diversité d'opinions sur la hauteur qu'il faut donner aux fourneaux à cuve, peut s'expliquer d'après la nature même des minérais. Fusibles, facilement réductibles, non mélangés de substances étrangères, ils peuvent être traités dans des fourneaux à cuve si petits et en si forte dose par rapport à la charge de charbon, que la réduction peut à peine s'opérer. Anciennement on ne faisait usage que de

ces fourneaux qui sont encore usités dans quelques contrées. La petite quantité de laitier produite par les minérais riches qu'on y traite, devient fusible par le silicate de fer, bien que le degré de chaleur obtenu soit très-faible. Cette basse température, la largeur du foyer, les interruptions périodiques, et l'action prolongée des machines soufflantes, changent la fonte en fer malléable. Ce métal aciéreux se rassemble en une masse sur la sole des fourneaux qui ont reçu le nom de stuckofen (*fourneaux à masse*).

Bientôt on s'aperçut que ce traitement ne convenait qu'aux minérais les plus riches; que ceux qui retenaient une grande quantité de terres, ne pouvaient se réduire complètement, et que la majeure partie du métal était absorbée par les scories. De là, le besoin d'élever la cuve, afin qu'on pût produire un plus haut degré de chaleur, et déterminer la vitrification des terres. On vit en même temps la possibilité de continuer le fondage sans interruption, en faisant écouler de temps à autre le fer liquide, avant qu'il ne fût coagulé. Les foyers prirent alors le nom de flussofen ou blauofen, (*fourneaux de fusion*). Ils doivent leur origine aux stuckofen, et dans le principe, ils n'en différaient point sous le rapport de leur hauteur. La seule distinction caractéristique qu'il soit possible d'établir entre eux, c'est que les flussofen sont plus rétrécis dans la partie inférieure de la cuve, afin que la chaleur produite soit plus intense. Ils furent substitués aux autres, et c'est alors seulement que l'on commença d'en augmenter la hauteur pour des minérais moins fusibles et qui, dans les petits fourneaux, se traitaient avec désavantage.

465. Le changement des fourneaux à masse en fourneaux de fusion fut, dans le travail du fer, une amélioration des plus importantes. Mais l'élévation progressive, que reçurent plus tard les fourneaux, ne fut pas moins essentielle. Les minérais difficiles à réduire, comme les silicates ou en gé-

néral, ceux qui sont chargés de silice, se traitent bien plus avantageusement dans des fourneaux élevés que dans ceux qui ont une petite hauteur, parce que, dans ces derniers, ils arrivent au foyer de fusion, avant d'avoir éprouvé une réduction complète. Tous les minérais mélangés d'une gangue réfractaire sont de nature à être traités pour fonte grise et dans les hauts fourneaux. Ceux-ci proviennent des flussofen; ils en diffèrent pourtant par un plus grand rétrécissement du foyer *, et par leur creuset dont une partie est à jour, pour faciliter le dégagement des scories; tandis que les fourneaux de fusion, entièrement fermés par devant, n'ont qu'une petite ouverture circulaire, qu'on débouche pour faire écouler la fonte ou le laitier, et qu'on referme chaque fois, après avoir achevé cette opération.

466. Les laitiers des hauts fourneaux sont ordinairement plus visqueux et plus abondants, que ceux qu'on obtient dans les fourneaux de fusion, employés au traitement des minérais riches et facilement réductibles. On doit préférer les flussofen aux hauts fourneaux, lorsque les minérais riches ne sont point mélangés de substances nuisibles à la qualité du fer; mais il faut en rétrécir le foyer. On pourrait même s'en servir pour des minérais riches, dont la gangue serait très-réfractaire, pourvu qu'on leur donnât un foyer resserré et une élévation convenable. Les hauts fourneaux sont toutefois plus commodes, et présentent plus de facilité pour l'écoulement des scories et le nettoiement du creuset. Ils sont en usage pour la réduction de tous les minérais pauvres et réfractaires.

467. Si une trop forte élévation des hauts fourneaux, peut devenir nuisible, on n'en doit chercher la raison que dans un effet purement mécanique; parce que la colonne

* Le mot de foyer, dans ce sens, doit s'entendre de la partie de la cuve où la chaleur est la plus forte, des environs de la tuyère.
L. T.

des matières contenues dans la cuve, peut, lorsqu'elle pèse avec beaucoup de force sur les couches inférieures, fermer le passage au vent.

Cette compression produit un effet très-sensible, si les minérais sont friables, susceptibles alors de se serrer fortement, et d'obstruer le passage à l'air, surtout quand on les traite avec de petits charbons. Le plus grand mal qui puisse en résulter, c'est la lenteur avec laquelle s'effectuent les descentes des charges. Mais on doit préférer de donner au fourneau une trop grande hauteur, plutôt que de tomber dans le défaut opposé : les matières seront mieux préparées avant d'entrer dans le foyer de la fusion; d'ailleurs, l'humidité des minérais, un grillage défectueux, un cassage en trop gros morceaux, sont des causes de dérangement qui influent avec plus d'énergie sur le degré de chaleur et l'allure des petits fourneaux.

468. On pourrait admettre en principe, que tous les minérais d'une richesse moyenne, produisant 40 à 50 p. % de fer cru et susceptibles d'être traités pour fonte blanche, sans donner aucun vice au fer, doivent être fondus dans les flussofen; tandis que ceux qui produisent des fers défectueux, doivent être traités dans les hauts fourneaux, à une forte chaleur. Cette règle ne peut subir de modification que pour les minérais riches, qui du reste n'ont point de mauvaises qualités; on pourra les réduire dans l'un et l'autre fourneaux, en les mélangeant avec des minérais pauvres et sans défaut : au reste c'est toujours de la *fonte blanche* ou *mêlée* qu'on doit en obtenir.

DEUXIÈME DIVISION.

DES COMBUSTIBLES.

469. L'étude des combustibles est plus importante pour le maître de forges que pour tous les autres métallurgistes praticiens. La grande consommation de ces matières, même pour les établissemens qui n'ont qu'une faible étendue, le force d'acquérir une connaissance parfaite de leur nature et de leurs propriétés, afin de diminuer ses frais d'approvisionnement. Il doit savoir apprécier leur effet, et l'influence qu'ils peuvent exercer sur la qualité des produits. Vu le bas prix du fer, il est de la plus haute importance, pour le sidérurgiste, de les employer de la manière la plus avantageuse. Une consommation mal entendue peut détruire de fond en comble la prospérité de son industrie. Tout ce qui est relatif à l'achat et à la préparation des combustibles, est regardé à juste titre comme une partie essentielle de l'art des forges; ces objets ont, avec le travail du fer, une liaison plus intime qu'avec toutes les autres branches de la métallurgie.

470. Dans l'extraction du fer, le combustible sert à la fois comme moyen d'élever la température et comme agent chimique. La réductibilité des oxides métalliques est très-variable. Les uns se réduisent au degré de chaleur qui liquéfie le métal désoxidé; d'autres exigent pour se réduire un degré de chaleur plus élevé, et d'autres enfin une plus basse température. Les oxides de fer sont dans ce cas; attendu que leur réduction peut s'opérer par le charbon à la chaleur rouge. D'autres agens, comme par exemple le soufre et sur-tout l'hydrogène, les réduisent à la chaleur rouge brune; mais ici il ne peut être question que de la réduction effectuée par le charbon.

471. Le corps qu'on veut réduire doit être en contact immédiat avec le réactif. La flamme seule ne pourrait produire l'effet demandé, parce qu'elle n'est que le résultat de la combinaison des matières combustibles avec l'oxigène. Si donc ces matières doivent désoxider le fer, il ne faut pas qu'elles soient déjà brûlées.

472. Il paraîtrait résulter des derniers paragraphes qu'on trouverait de l'avantage à employer les combustibles bruts, parce que l'hydrogène qu'ils renferment contribuerait puissamment à la réduction; mais l'expérience est loin de confirmer cette opinion: l'hydrogène renfermé dans les combustibles non carbonisés ne se combine pas avec l'oxigène du métal; mais il absorbe l'oxigène contenu dans le combustible, à peu près de la même manière que si le corps était soumis à la carbonisation. Des obstacles mécaniques, joints d'ailleurs à la raison d'économie, font rejeter l'emploi des combustibles à l'état brut. Pour ce qui est de la houille, ses parties composantes agiraient d'une manière nuisible sur la qualité du fer: il faut donc les soumettre à une préparation, et en séparer les substances qui, dans un air non condensé, peuvent brûler avec flamme: c'est ce qu'on appelle la *carbonisation*.

Tous les corps employés comme combustibles, le bois, la tourbe, les houilles brunes ou noires, contiennent, outre le carbone, de l'hydrogène, de l'oxigène et quelquefois aussi de l'azote, dans des proportions telles, qu'à une température convenable, au-dessous même de la chaleur rouge et hors du contact de l'air, ces substances forment avec une petite dose de carbone, de nouvelles combinaisons et se dégagent à l'état d'eau, d'huile, de gaz combinés, d'acide acétique, etc. etc. Il paraît que ces nouveaux composés exigent, pour leur formation, d'autant moins de carbone que la température est plus basse. Au reste, on est obligé de la varier d'un combustible à un autre; il est assez vraisem-

blable que le degré de chaleur doit augmenter avec la quantité de carbone contenue dans ces matières inflammables. Préservé du contact de l'air, le charbon est inaltérable à la plus forte chaleur.

473. On, voit d'après ce qui précède, que le combustible cru considéré comme corps désoxidant, ne peut agir avec plus d'énergie que si préalablement il avait subi la carbonisation : car l'effet de l'hydrogène se trouve neutralisé, par l'oxigène du combustible, à une assez faible chaleur.

Les fréquentes variations dans la température, la prompte destruction des matières inflammables, la perte de carbone dont une plus grande partie s'échappe avec le gaz, sans brûler, sont des inconvéniens qui détruisent tous les avantages que semble promettre l'emploi des combustibles bruts. Il y a donc économie, lorsqu'on veut produire une chaleur continue, à les carboniser; parce que les charbons se consument très-lentement.

Ce n'est que dans le cas où il faut éviter le contact immédiat et médiat du minérai ou du métal avec le combustible, et dans les travaux qui exigent un coup de feu violent plutôt que prolongé, qu'on doit préférer les matières inflammables brutes, à celles qui ont été carbonisées.

474. On ne doit point confondre la combustion avec la carbonisation; elles sont diamétralement opposées: pour l'une, on évite le contact de l'air, pour l'autre, il est indispensable. Les combustibles crus, exposés à la plus forte chaleur qu'on puisse produire dans nos fourneaux, ne subissent d'autre changement que celui de se convertir en charbon; et ce corps n'est susceptible de se volatiliser qu'à l'aide d'un courant de fluide électrique.

Si la carbonisation pouvait toujours s'effectuer sans le contact de l'air dans des vases clos, on obtiendrait tout le carbone qu'il est possible de retirer des combustibles, et l'on n'en perdrait que la dose qui est nécessaire pour former

les nouveaux composés dont il a été question au paragraphe (472); mais cette manière de procéder serait dispendieuse dans les opérations en grand*. On en brûle donc une partie pour élever la température et pour carboniser le reste.

475. L'inflammabilité des combustibles est en rapport inverse de leur richesse en charbon. Une chaleur rapide, une flamme vive, mais passagère, ne peuvent donc s'obtenir qu'avec celles de ces substances qui ne renferment pas une grande quantité de carbone. D'un autre côté, plus les combustibles sont poreux, plus ils s'enflamment facilement, et les charbons qu'ils produisent suivent la même loi. L'inflammabilité décroissant, depuis la paille sèche, le bois, la houille, jusqu'au diamant ou jusqu'au graphite et l'anthracite, en fournit la preuve. On peut conclure de ces faits, que l'hydrogène contenu dans les combustibles doit augmenter leur inflammabilité. Les charbons sont d'ailleurs d'autant plus poreux, et par suite d'autant plus inflammables, que les combustibles crus dont ils proviennent renferment plus d'hydrogène.

Il en existe qui sont tellement peu inflammables, qu'ils ne brûlent que dans un air condensé.

476. Il est prouvé depuis long-temps par l'expérience, qu'à volume égal, les charbons pesans développent le plus de chaleur; mais à poids égaux, on ne connaît pas leur

* Cette méthode se pratique près des grandes villes, où le bois est très-cher et où l'on peut trouver un facile débit des produits de la distillation. On peut, dans ce cas, réunir le combustible sur des points déterminés, parce qu'il s'agit moins d'économiser les frais de transport que la matière première. Il en serait tout autrement dans les usines où les dépenses occasionnées par le chariage, excéderaient souvent la valeur du bois. Il paraît d'ailleurs que le charbon obtenu par la distillation du bois dont on extrait du vinaigre, est plus léger, et donne beaucoup moins de chaleur que celui qu'on obtient dans des meules, par les procédés ordinaires: cette différence n'est due qu'à la manière d'opérer, ou pour mieux dire au degré de chaleur employé. Le T.

effet d'une manière aussi positive. Cet effet n'est pas entièrement proportionnel à leur pesanteur spécifique; ce sont les charbons légers qui, dans ce cas, paraissent dégager le plus de chaleur *. Mais le rapport des effets produits, et la raison qui peut motiver cette différence, voilà ce qu'il s'agirait d'examiner encore.

477. Nous ne devons point négliger l'étude des combustibles bruts, puisqu'entre leurs propriétés et celles de leurs charbons, il existe tant d'analogie. Les résidus de la combustion de l'une et de l'autre substance, sont les cendres.

Le degré de température auquel les charbons commencent à brûler, est encore un sujet de contestations parmi les chimistes. Il paraîtrait résulter des expériences de Rumfort, que le carbone se combine avec l'oxigène et se change en acide carbonique, à un degré de température bien au-dessous de celui où il brûle d'une manière visible : mais ces expériences n'ont pas été faites avec du charbon pur, qui, du reste, brûle toujours sans flamme, tout en produisant le plus haut degré de température. Il ne résulte, d'une lente combustion, qu'un faible dégagement de chaleur. En général, les charbons doivent brûler dans un temps déterminé par leur porosité. Si la combustion est trop rapide, la température peut s'élever momentanément au plus haut degré que le charbon puisse produire, mais cette chaleur est très-passagère, et l'effet devient aussi incomplet, que si le charbon se consumait avec trop de lenteur.

La durée du temps la plus avantageuse pour la combustion, est-elle la même pour des poids égaux de charbons durs et de charbons légers? La solution de cette ques-

* Quand on veut produire un haut degré de chaleur, il faut nécessairement employer du charbon dur; on manquerait son but, quelle que fût la quantité de charbon tendre qu'on brûlerait: dans ce cas, on ne peut établir aucune comparaison entre ces combustibles. Le T.

tion reste encore abandonnée aux recherches des physiciens. Si les divers charbons produisaient par la combustion, dans des temps égaux, des effets proportionnels, il suffirait d'en examiner une seule espèce, de déterminer le temps ou la densité de l'air qui donnerait le maximun d'effet, et de chercher ensuite les rapports qui existeraient entre les densités de l'air qu'on devrait employer, pour brûler les autres charbons pendant ce temps.

DU BOIS ET DU CHARBON DE BOIS.

478. Les différentes espèces de bois employées dans les travaux métallurgiques sont, le pin, le sapin rouge (l'épicia), le sapin blanc, le mélèze, le chêne, le hêtre, le charme, l'aune, le bouleau, le tilleul, le peuplier, le saule, l'orme et le châtaignier. Ces différentes essences sont divisées ordinairement en deux classes: en *conifères* et en bois *feuillus*. On les divise encore selon leur degré d'inflammabilité et celui de leurs charbons, en bois tendres et en bois durs. Les conifères, tels que le pin, l'épicia, le sapin, le mélèze, appartiennent aux bois tendres, ainsi que le tilleul, le saule et le peuplier.

479. Le pin (*pinus silvestris*) est de tous les bois tendres le plus dur, et donne aussi les charbons les plus compactes. Il croît dans le sable mouvant, et ne prospère pas plus dans un sol gras et humide, que sur les montagnes arides couvertes d'une trop mince couche de terre végétale.

Le pin est plus grand et plus résineux que tous les autres conifères; il peut acquérir un mètre de diamètre et 22 à 25 mètres d'élevation. Une forte racine pivotante le protège contre le vent. Ses ennemis principaux sont la chenille de pin et le dermeste typographe. Il ne parvient à son plus grand développement qu'après 140 ans; mais on peut le mettre en coupe au bout de 80 à 100 années.

L'épicia ou sapin rouge (*pinus picea*), qui n'a qu'un faible pivot, est très-sujet à être déraciné par le vent; les insectes qui attaquent le pin, causent encore plus de dommage à l'épicia dont le bois se gâte plus promptement.

Ce n'est qu'après un siècle et demi, que cet arbre parvient au terme de sa croissance; on le coupe tous les 70 ou 80 ans, mais le meilleur aménagement est entre 100 et 150 ans. Dans les bons terrains, on peut réduire quelquefois à 60 ans la durée d'une révolution. Quoiqu'il ne se plaise point dans les sables arides et qu'il préfère les terres grasses, il n'est point rare dans les pays de montagnes.

Le sapin blanc (*pinus abies*) habite également les plaines et les montagnes, pourvu que le sol ne soit ni trop gras ni trop humide. Il pousse avec beaucoup de rapidité, atteint le terme de sa croissance de 80 à 100 ans. On peut l'aménager à 60 ans. Plus dur que l'épicia, son bois est moins disposé à tomber en pourriture. La durée de la vie de cet arbre est de 4 siècles.

Le mélèze (*larix*), qui perd son feuillage *aciculaire* pendant l'automne, croît avec une extrême rapidité; on peut le couper au bout de 50 ans. Il exige une assez bonne terre, qui ne soit ni sablonneuse ni grasse, ni humide, ni froide: il ne fait que languir dans les contrées septentrionales. Le terme de sa croissance est marqué à 80 ou 90 ans, et celui de sa vie à trois siècles.

Le chêne (*quercus robur*) demande 200 à 250 ans pour parvenir à toute sa grosseur; mais il croît si rapidement dans les premières années, qu'au bout de 50 à 60 ans, on peut le couper déjà pour le mettre en charbon. Son bois, qui est très-fort et très-dense, donne les charbons les plus durs et les plus pesans. Cet arbre peut atteindre un âge de 600 ans; il lui faut un terrain assez bon, un peu humide et légèrement montueux.

Le hêtre et le charme (*fagus et carpinus*) se plaisent

dans les terrains secs; il leur suffit de 120 à 140 ans pour parvenir au terme de leur accroissement. On les aménage à 120 ans; leur bois est dur et leur charbon excellent.

Les deux espèces d'orme (*ulmus sativa, ulmus campestris*) demandent une terre grasse et humide. Elles donnent, au bout de 80 ans, les meilleurs bois de charronnage, et au bout de 20 ou 30 ans, de très-bons bois à charbon. Il serait à désirer qu'on parvînt à propager la culture de cet arbre précieux, dont le bois et le charbon sont d'une excellente qualité.

L'aune (*betula alnus*) ne croît que dans les terres humides, au bord de l'eau; coupé, il repousse avec beaucoup de vigueur; on peut l'aménager à 18 ou 20 ans; son charbon est d'une assez bonne qualité.

Le bouleau (*betula alba*) peut, au bout de 40 ans, atteindre 40 à 60 pieds d'élévation. On ne l'emploie pas comme bois de construction; son charbon est très-bon. On peut l'aménager à 20 ans; il demande un sol léger, un peu humide et exposé au soleil; c'est pour cette raison que cet arbre ne prospère pas au milieu des forêts.

Le tilleul, le peuplier et le saule (*tilia, populus* et *salix*) donnent de mauvais bois de construction et de mauvais charbon. On évite de les employer *. Le châtaignier ne croît que dans la partie méridionale de l'Europe; il fournit un bon charbon, qui, dans l'Italie, est d'un fréquent usage.

480. L'ensemencement, la plantation, la culture, l'aménagement des bois sont du ressort de la partie forestière. Ce n'est qu'à l'aide d'une connaissance précise de l'étendue des terrains, de la nature du sol et de la croissance des ar-

* Je connais plusieurs usines où les charbons de ces bois tendres sont très-recherchés pour l'affinage, parce qu'ils rendent ordinairement le fer plus doux; mais ils ne donnent pas assez de chaleur pour être brûlés dans les hauts fourneaux. Le T.

bres, qu'on doit déterminer la quantité de bois que, par coupes annuelles, on peut extraire d'une forêt, sans lui porter aucun préjudice. Le genre d'exploitation dépend des localités : c'est aux forestiers à décider, d'après la nature du sol et les essences des bois, si elle doit avoir lieu par coupes réglées, par jardinage ou par éclairci. L'intérêt des usines est, sous ce rapport, entièrement subordonné à celui des forêts *. Les arbres sur le retour, soit par l'âge soit par d'autres circonstances, sont de peu d'utilité pour l'une et l'autre administration. Il faut donc que le bois ne soit pas conservé trop long-temps sur pied ni abattu trop jeune, parce que, dans ce dernier cas, il n'aurait pas assez de densité et donnerait de mauvais charbon.

481. Si le degré de chaleur développé par le bois, était proportionnel à la quantité de carbone qu'il contient, et si celle-ci l'était ensuite à la pesanteur spécifique du bois, chose assez vraisemblable, on en conclurait, conformément à l'expérience, qu'à volume égal, le bois le plus dur et le plus difficilement inflammable, produirait le plus d'effet. Mais on ne connaît pas encore le rapport entre les effets de diverses espèces de bois pris à poids égaux : il est très-difficile d'en déterminer la pesanteur spécifique et le poids absolu, avec une certaine précision, à cause de la quantité variable d'eau qu'ils peuvent contenir.

Rumford a fait des expériences sur la pesanteur spécifique de quelques essences de bois. Après les avoir desséchées, à une température de 245° de Fahrenheit; c'est-à-dire, 33° au-dessus de l'ébullition de l'eau, et après avoir continué la dessication, jusqu'à ce qu'il ne pût plus apercevoir aucune diminution de poids, il les a fait bouillir une heure dans l'eau pour en chasser l'air qu'ils conte-

* Il faut se rappeler que les usines et les forêts dont il est ici question appartiennent au gouvernement. Le T.

naient. Purgés ainsi d'eau et d'air, ces bois lui ont donné les résultats suivans :

ESSENCES.	PESANTEURS spécifiques.	POIDS EN GRAMMES des parties solides d'un pouce cube.
Chêne. . .	15,344	30,42
Orme . . .	15,186	30,11
Hêtre. . . .	15,284	30,30
Erable. . .	14,599	28,95
Sapin. . . .	14,621	28,96
Bouleau . .	14,848	29,44
Tilleul. . .	14,846	29,40
Peuplier. .	14,854	29,45
Eau. . .	10,000	19,83

Il résulte de ces expériences que la pesanteur spécifique des parties solides du bois, est de moitié plus forte que celle de l'eau, et qu'il existe une si faible différence dans le poids d'une espèce à l'autre, que la substance ligneuse peut être regardée comme identique pour toutes les essences. On peut facilement se rendre raison de ces faits, en songeant que le bois a été desséché à une chaleur de 245° de Fahrenheit, et purgé d'air par une longue ébullition dans l'eau. Il est permis de croire que les bois qui, séchés à l'air, montrent la plus grande pesanteur spécifique, ont le tissu ligneux le plus serré et subissent à la température de 245° Fahrenheit le plus faible déchet. La perte qu'éprouve le bois séché à l'air, par la dessication dans les fours, a été fixée par Rumford ainsi qu'il suit :

ESSENCES.	SÉCHÉS A L'AIR. Poids en grammes.	DESSÉCHÉS DANS LES FOURS. Poids en grammes.	PERTES POUR CENT.
Chêne. . . .	10	8,336	16,64
Orme	10	8,110	18,20
Hêtre	10	8,144	18,56
Erable. . . .	10	8,137	18,63
Sapin.	10	8,247	17,53
Bouleau . . .	10	8,062	19,38
Tilleul. . . .	10	8,121	18,79
Peuplier. . .	10	8,045	19,55

La plus ou moins grande quantité de résine contenue dans le bois, peut influer sur la perte en poids, et conduire en apparence à de fortes anomalies.

482. Les bois, comme les hydrates du règne minéral, contiennent à l'état de combinaison une certaine quantité d'eau, qui ne peut en être séparée que par un degré de chaleur au-dessus de celui de l'ébullition, et qui fait partie de leur nature intrinsèque; ils renferment en outre une quantité variable de ce liquide dont ils sont imbibés. C'est ce qui, dans les données sur leur pesanteur spécifique et sur leur poids absolu, a causé de si nombreuses variations.

Il paraît que les diverses essences de bois n'absorbent pas les vapeurs aqueuses avec une égale avidité. Pour connaître la quantité d'eau dont elles peuvent s'imbiber, Rumford les a desséchées à une chaleur de 50° de Fahrenheit au-dessus de l'ébullition, et les a exposées ensuite pendant 24 heures à l'air libre; mais cette manière d'opérer est inexacte, parce que le bois absorbe en même temps l'eau qui doit faire partie de sa composition, et dont il s'empare avidement, lorsque son organisation n'a pas encore été troublée: cette considération a été négligée dans les expériences de Rumford.

M. Hartig donne le poids du pied cube de bois sec ainsi qu'il suit :

ESSENCES.	AGES DES BOIS.	POIDS DU PIED CUBE.
	ans	lb. loth.
Chêne rouvre de. .	200	46 — 22
Chêne blanc. . . .	190	44 — 23
Hêtre.	120	39 — 2
Bouleau.	60	41 — 13
Sapin blanc. . . .	81	36 — 20
Pin sylvestre . . .	100	36 — 10
id.	50	35 — 20
Orme.	100	36 — 14
Sapin rouge. . . .	100	31 — 4
id.	60	29 — 25
Aune	70	29 — 28

M. Wildenhain fixe le poids d'un pied cube de bois (mesure de Leipzic), ainsi qu'il suit:

Pour le chêne à. . . . . 24 liv.
— hêtre. 24
— bouleau. . . . . 20 — 2 onces.
— pin. . . . . 16 — 2
— etc., etc.

La diversité de ces résultats nous montre l'incertitude qui règne encore dans cette partie de nos connaissances. Elle nous fait voir que l'âge et la qualité des bois, exercent une influence notable sur leur poids, et qu'il ne faut pas être surpris si, considérés comme matières combustibles, ils ne produisent pas un effet qui s'accorde avec leur pesanteur spécifique.

Au reste ce sont les données de Rumford qui présentent le plus d'exactitude, parce qu'elles sont indépendantes des quantités d'eau et d'air contenues dans le bois à l'état libre ;

mais c'est pour cette raison même que ces données sont inapplicables pour la pratique.

483. Rumford a prouvé, par ses expériences, que pour un poids déterminé, le bois développe d'autant plus de chaleur qu'il est dans un état de siccité plus avancé, et que celui qui a subi déjà un commencement de décomposition n'en développe qu'une très-faible quantité; mais elles paraissent prouver aussi qu'à poids égaux, la chaleur dégagée ne dépend nullement de la pesanteur spécifique. Ces résultats d'expériences sont du reste très-incertains, parce qu'il faudrait brûler chaque espèce de bois avec une vitesse convenable à sa densité, afin d'en obtenir le plus grand effet possible. Un corps qui brûle avec rapidité produit instantanément plus d'effet que celui qui se consume avec lenteur. Si donc la combustion avait lieu dans les mêmes circonstances, l'avantage pourrait être du côté des bois qui s'enflamment le plus facilement.

484. Les opinions sur le carbone contenu dans le bois, sont aussi variables que les données sur la chaleur dégagée par la combustion. Il paraît résulter des expériences de Rumford, que tous les bois desséchés contiennent une égale dose de parties ligneuses ou de charbon, qu'on peut en retirer en les distillant avec beaucoup de précaution. Cent parties de bois parfaitement sec (481), chauffées dans des cylindres de verre placés dans une étuve, donnèrent à M. Rumford:

Bois de chêne. . . .	43,00	de charbon pris au poids.
— orme	43,27	
— érable. . . .	42,23	
— sapin	44,18	
— tilleul. . . .	43,59	
— peuplier. . .	43,57	

Ce physicien dit avoir continué l'opération, jusqu'à ce qu'il ne s'aperçut plus d'aucune diminution de poids. Il lui

fallut, pour cet effet, quatre jours et quatre nuits, en réglant la chaleur avec beaucoup de soin. D'où il conclut que le charbon existe déjà dans le bois, et qu'il est en même quantité dans toutes les essences. Il en résulterait que les bois ne diffèrent entr'eux que par la densité de leur tissu ligneux.

485. MM. Proust, Mushet, Scopoli, Hielm, Allen et Pepys sont parvenus à des résultats bien différens de ceux que nous venons de rapporter.

Expériences de PROUST.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Orme	100	25
Sapin rouge	*id.*	20
Chêne	*id.*	19
Charme	*id.*	17
Saule	*id.*	17

Expériences de MUSHET.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Châtaignier	100	23,280
Chêne	*id.*	22,680
Hêtre	*id.*	19,941
Orme	*id.*	19,574
Sapin	*id.*	19,204
Saule	*id.*	18,497
Bouleau	*id.*	17,491
Pin	*id.*	16,456

Expériences de HIELM.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Chêne sec	100	30 $\frac{1}{2}$
id. frais	*id.*	29 $\frac{1}{3}$
Sapin sec	*id.*	26
id. vert	*id.*	27 $\frac{2}{3}$
Pin sec	*id.*	24 $\frac{1}{4}$
id. vert	*id.*	26 $\frac{1}{5}$
Bouleau sec	*id.*	25 $\frac{1}{2}$
id. vert	*id.*	23 $\frac{1}{4}$

Expériences de Scopoli.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Chêne	100	25
Sapin	*id.*	25
Bouleau	*id.*	23
Tilleul	*id.*	22
Hêtre	*id.*	21 $\frac{5}{4}$

Expériences d'Allen et Pepys.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Sapin	100	18,17
Chêne	*id.*	17,40
Hêtre	*id.*	15,00

Ces expériences se font ordinairement sur de petites quantités de bois. Toutes les causes éventuelles, qui tendent à en altérer les résultats, doivent avoir alors une très-forte action : comme par exemple, la variation dans le degré de chaleur, l'influence de l'air atmosphérique et la plus ou moins grande combustion du charbon, qui en est la suite inévitable.

Si toutes les essences de bois produisaient une égale quantité de charbon prise au poids, il s'ensuivrait que les essences dures en donneraient une plus faible dose mesurée au volume, puisque leurs charbons ont une plus grande pesanteur spécifique.

486. L'hydrogène, l'oxigène et le carbone suivent différens modes de combinaison, réglés par le degré de chaleur employé; il en résulte que la quantité de charbon obtenue dépend aussi de cette température. Il existe par exemple, plusieurs résines qui contiennent plus de carbone que le bois, et qui, carbonisées à un certain degré de chaleur, ne laissent pas une trace de carbone. Les composés qui se forment par la distillation du bois éprouvent aussi, par la même cause, des variations considérables. Si par conséquent la production du charbon est le but prin-

cipal qu'on se propose, on doit toujours donner une très-faible chaleur au commencement, et la rendre plus intense vers la fin de l'opération, afin de faire entrer le moins possible de carbone dans les produits gazeux qui se dégagent.

Ces produits sont de l'eau, de l'huile, de l'acide acétique, une petite quantité de substance alcoolique, et un mélange d'acide carbonique, d'oxide de carbone, d'hydrogène carburé et de gaz oléagineux. Les proportions de ces divers corps sont dépendantes de la température employée.

487. Tous les produits obtenus par la distillation du bois, sont formés pendant l'opération, et ne donnent point de renseignemens sur la composition de ce combustible; elle ne peut être déterminée que par l'analyse. MM. Gay-Lussac et Thénard ont prouvé que les différentes espèces de bois et probablement toutes les fibres ligneuses, ne varient presque pas dans leur composition, et qu'elles contiennent en général 52 parties de carbone, et 48 d'oxigène et d'hydrogène, dans les proportions voulues pour former de l'eau. Sous le point de vue chimique, on peut donc regarder les fibres ligneuses composées de 52 parties de carbone et de 48 d'eau; mais la formation des autres produits qu'on obtient par la distillation, prouve évidemment que les trois parties constituantes du bois, sont combinées entre elles d'une tout autre manière. C'est par cette raison que l'oxigène et l'hydrogène ne peuvent se séparer du carbone, à une température élevée, qu'en entraînant une certaine partie de cette substance. Le bois de *hêtre* a donné à ces chimistes 51,45 parties de carbone et 48,55 d'eau. Le bois de *chêne*, 52,53 parties de carbone et 47,47 d'eau.

488. Le bois exposé quelque temps à une température de 120 degrés de Réaumur, finit par ne plus éprouver aucune diminution de poids: il perd alors, après une parfaite dessication (481 et 484), 56 à 59 p. %. Le résidu qui res-

semble au charbon ordinaire, bien qu'il ait moins d'éclat, s'élève par conséquent de 41 à 44 p. %. Cette substance charboneuse est appelée par Rumford la fibre ligneuse ou le squelette de la plante (484). Cet auteur pensait qu'elle constitue un charbon pur, contenu en même quantité dans tous les végétaux. Mais remarquons que cette perte de 56 à 59 pour cent est relative à 120 degrés de Réaumur, et que par une température plus élevée elle s'accroîtra; car ce n'est qu'à la chaleur rouge que la fibre ligneuse se décompose complètement, au point de ne plus subir aucun déchet, par un accroissement de température. Il en résulte que les fibres ligneuses de Réaumur, obtenues par une douce distillation, ne constituent pas un charbon pur, et que les autres produits diffèrent considérablement de ceux qu'on obtient par la carbonisation ordinaire. Le bois de charme par exemple, distillé à une chaleur rapide pour la fabrication du vinaigre, ne laisse que 13,3 p. % de charbon; soumis au contraire à l'influence d'une douce température, il en donne 26,1 p. %, et une plus grande quantité d'eau, d'hydrogène carburé et d'acide carbonique.

M. Chevreuse a signalé les principales différences qui existent entre le charbon qui a été produit par une douce distillation, et celui qu'on obtient à une haute température, en employant les mêmes essences. Le premier possède une plus faible pesanteur spécifique, est moins conducteur d'électricité et de calorique, beaucoup plus inflammable, et en même temps plus hygrométrique que le deuxième, qui a été obtenu à la chaleur rouge.

Il paraît que le charbon qui n'a éprouvé qu'une douce distillation, contient encore de l'oxigène, bien qu'il ne renferme plus d'hydrogène; il constituerait alors une espèce de charbon oxidé. Ces conjectures ont du reste besoin d'être confirmées par l'analyse.

489. Nos différentes essences de bois, désséchées à l'air

et soumises à la distillation, donnent à peu près les mêmes quantités de charbon, ainsi qu'on peut s'en convaincre par le tableau suivant, qui présente les quantités de charbon produites par 100 parties de bois.

DÉSIGNATION des ESSENCES.	CHARBON OBTENU par une carbonisation rapide.	CHARBON OBTENU par une carbonisation lente.
Jeune chêne	16,54	25,6
Vieux chêne	15,91	25,71
Jeune hêtre (fagus sylvatica)	14,875	25,875
Vieux hêtre	14,15	26,15
Jeune charme (carpinus betulus)	13,12	25,22
Vieux charme	13,65	26,45
Jeune aune	14,45	25,65
Vieux aune	15,3	25, 65
Jeune bouleau	13,05	25,05
Vieux bouleau	12,2	24,70
Bouleau qui avait séjourné pendant 100 ans en terre	12,15	25,10
Jeune épicia, ou sapin rouge	14,25	25,25
Vieux sapin rouge	14,05	25
Jeune sapin blanc (pinus abies)	16,225	27,725
Vieux sapin blanc	15,35	24,75
Jeune pin	15,52	26,07
Vieux pin	13,75	25,95
Tilleul	13,3	24,60
Paille de seigle	13,4	24,60
Fougère	17	27,95
Roseau	14,65	26,45

Le bois qui a servi pour les exemples précités, avait été mis sous forme de copeaux et desséché pendant plusieurs

jours à une température de 15 degrés Réaumur. Les petites différences qu'on remarque dans les résultats obtenus, ne doivent être attribuées qu'à la difficulté qu'on éprouve d'élever toujours la température au même degré. C'est aussi pour cette raison que ces différences sont plus sensibles dans la première colonne. Au reste la chaleur a été poussée au rouge vers la fin de chaque opération.

490. On n'est guère plus d'accord sur la pesanteur spécifique du charbon que sur celle du bois. Rumford pense que l'une dépend toujours de l'autre. Les variations dans les données des divers auteurs, ainsi que leurs opinions contraires sur la quantité de charbon contenue dans les différentes essences, peuvent être attribuées en partie aux propriétés hygrométriques du bois et du charbon; car, à la sortie des meules, ces derniers augmentent en peu de temps, d'après Allen et Pepys, de 12 pour cent de poids. Mais la cause principale de ces nombreuses contradictions doit être cherchée dans le bois lui-même. On en sera convaincu en pensant qu'un arbre produit des charbons plus ou moins durs, selon le terrain qui le nourrit, selon la saison dans laquelle on le coupe et selon les parties (le tronc ou les branches) qui sont employées à la carbonisation. Scopoli fixe les poids relatifs des charbons ainsi qu'il suit :

Charbon de chêne		86
id.	de hêtre.	66
id.	de bouleau	61
id.	de tilleul	40
id.	de sapin.	44

Cette détermination me paraît aussi dépourvue d'exactitude que celle de Hielm, qui suppose que la pesanteur spécifique du charbon de chêne n'est que de 0,256, tandis qu'il fixe celle de l'épicia à 0,277 et celle du pin à 0,218.

491. Kirvan admet pour la pesanteur spécifique de quelques espèces de charbon les données suivantes :

Charbon	de chêne.	0,532
id.	de hêtre.	0,542
id.	de peuplier. . . .	0,280
id.	d'épicia.	0,441

Hassenfratz, dans sa sidérotechnie, communique les résultats suivans de plusieurs expériences faites sur cet objet en 1792.

Charbon	d'aune.	0,134
id.	de bouleau. . . .	0,203
id.	de charme. . . .	0,183
id.	de chêne.	0,155
id.	de hêtre.	0,187
id.	d'épicia.	0,076
id.	de tilleul.	0,106
id.	d'alizier.	0,196
id.	d'érable.	0,164
id.	de frêne.	0,200
id.	d'orme.	0,180
id.	de poirier.	0,252

Multipliés par 1000, ces chiffres donneraient les poids absolus par mètre cube de chaque espèce de charbon; mais ces résultats ne sont pas d'accord avec ceux qu'on remarque dans la pratique.

492. Il est un fait incontestable, c'est que les bois vieux, humides, dépérissant, produisent de mauvais charbons, et en moindre quantité que les bois sains. Ces charbons sont légers et donnent peu de chaleur. On ne peut en attribuer la cause qu'à un commencement de décomposition; mais on ignore de quelle manière la maladie du bois peut influer sur la qualité et la pesanteur du combustible carbonisé. Il faut donc éviter, autant qu'il est possible, l'emploi des bois humides et piqués. D'après les expériences de Hielm, le bois nouvellement abattu donne du charbon plus léger, plus friable et développant moins de chaleur que celui du bois sec; mais les quantités peuvent être égales.

Selon Pissis, le bois pourri laisse deux fois plus de cendres que le bois sain. D'après Kirwan, le saule donnerait par 1000 parties en poids, 28 de cendres, l'orme 23,5, le chêne 13,5, le peuplier 12,2, le hêtre 5,8, le sapin 3,4. Mushet prétend en avoir obtenu, sur 1000 parties de bois: 4,23 du chêne, 17,92 du bouleau, 3,55 du sapin, 4,49 du pin, 7,61 de l'orme, 11,32 du saule, 4,16 du châtaigner, 9,55 du hêtre.

493. Les quantités de cendres contenues dans les diverses essences de bois, dépendent du sol qui a donné naissance à l'arbre et d'autres circonstances éventuelles. Au reste toutes les cendres renfermées dans le bois passent dans le charbon. Il s'en suit que ce dernier en contient d'autant plus, que la perte éprouvée par la carbonisation a été plus considérable. Voici les quantités de cendres données par diverses essences de bois, et celles que donneraient leurs charbons, supposé que le produit de la carbonisation soit de 20 p. %, et l'on ne peut guère en obtenir davantage dans les opérations en grand.

DÉSIGNATION des ESSENCES.	QUANTITÉS de CENDRES CONTENUES	
	dans le bois.	dans le charbon.
Jeune chêne. . . .	0,15	0,75
Vieux chêne . . .	0,11	0,55
Jeune hêtre. . . .	0,375	1,875
Vieux hêtre. . . .	0,4	2,0
Jeune charme. . .	0,32	1,6
Vieux charme. . .	0,35	1,75
Jeune aune. . . .	0,35	1,75
Vieux aune. . . .	0,40	2
Jeune bouleau. . .	0,25	1,25
Vieux bouleau. . .	0,30	1,5
Jeune épicia. . . .	0,15	0,75
Vieux épicia. . . .	0,15	0,75
Jeune sapin. . . .	0,225	1,125
Vieux sapin. . . .	0,25	1,25
Jeune pin.	0,12	0,6
Vieux pin.	0,15	0,75
Tilleul	0,40	2,0
Paille de Seigle. .	0,30	1,5
Fougère.	2,75	13,75
Roseau.	1,70	8,5

Les expériences les plus précises qui ont été faites sur la composition des cendres, sont dues à M. Berthier. Elles prouvent que le carbonate de chaux forme la partie dominante de leurs composans, qu'elles contiennent en outre des sulfates et des phosphates, du carbonate de potasse et un peu d'oxide de fer; qu'elles ne renferment point d'alumine, et que c'est à tort qu'on leur attribuait un contenu notable de silice.

494. Le charbon dur ou pesant exige un air plus condensé, pour brûler avec la même vîtesse que le charbon léger; celui-là se consumerait lentement et sans produire beaucoup d'effet, dans les mêmes circonstances où celui-ci brûlerait avec la flamme la plus vive.

495. On ne doit point s'étonner que la nature des bois, l'adresse des ouvriers et d'autres circonstances accidentelles, influent si fortement sur la quantité de charbons obtenue, dans la carbonisation en grand; puisque les opérations faites avec beaucoup de soin, par des physiciens distingués, présentent dans leurs résultats tant de variations. Au reste, on peut compter à peu près sur 20 p. %, si le bois employé a été séché à l'air.

Le rapport entre le bois et le charbon obtenu dans les opérations en grand, se détermine presque toujours au volume, et l'on doit admettre que celui de 100 à 50 est très-avantageux pour du bois de quartier. Du reste, cette donnée ne peut s'appliquer à tous les bois indistinctement, parce que le rapport entre les pesanteurs spécifiques des bois et des charbons, n'est pas constant pour toutes les essences; le bois tendre ne diminue pas en volume autant que le bois dur, et le bois jeune éprouve une plus forte diminution que le bois vieux, lorsque celui-ci est encore dans toute sa vigueur. Le bois sec et le charbon possèdent, d'après Rumford, presque la même pesanteur spécifique. Il en résulte que le bois ne se retire que pendant la dessication, qui précède sa conversion en charbon; ce fait prouve l'influence de l'humidité sur la carbonisation du bois.

496. Le combustible est un objet d'une si haute importance dans la fabrication du fer, que la coupe et la carbonisation du bois doivent être mises sous la direction immédiate de l'administration des forges, dans les pays mêmes où l'administration forestière est séparée de celle-ci. L'une désigne les coupes, l'autre se trouve chargée de

leur exploitation: les agens forestiers doivent toutefois surveiller l'exécution de ces travaux *.

497. Bien qu'on ne puisse donner une règle positive sur la saison où l'on doit abattre le bois, on peut admettre en thèse générale, que le moment le plus favorable est celui où l'ancienne sève s'est changée en bois, tandis que la nouvelle est encore liquide. Dans les endroits marécageux, on ne peut choisir que le temps d'hiver. Pour le bois feuillu, on préfère ordinairement le mois de mars, le mois d'avril et quelquefois même le mois de mai, lorsque la sève se développe et que les arbres commencent à bourgeonner: on a pour but de favoriser le *recru* dans les essences qui peuvent se renouveler par rejetons. Pour les conifères, on les coupe en janvier, février ou mars, avant l'arrivée de la sève, afin que le bois soit moins susceptible de se *piquer*. On pourrait aussi les abattre pendant l'été; la dessication en deviendrait plus lente, mais les charbons seraient plus compactes et plus *forts* que ceux du bois d'hiver.

Les coupes d'automne donnent des bois très-sujets à se gâter, à cause de l'épaississement de la sève. Le temps, le climat, la nature du terrain et celle du bois, principalement l'exposition de la forêt, peuvent quelquefois autoriser les coupes d'été; mais il est reconnu que les bois sèchent avec d'autant plus de lenteur qu'ils ont été abattus dans une saison plus avancée. Lorsqu'ils sont verts et humides, ils donnent de mauvais produits et augmentent les difficultés de la carbonisation.

Les bois abattus pendant les mois d'hiver, peuvent encore être carbonisés à l'automne de la même année; mais coupés pendant l'été et l'arrière saison, ils doivent

* Nous rappellerons encore une fois, que les usines dont il s'agit ici, appartiennent au gouverneme et sont administrées par ses agens. Le T.

séjourner à l'air pendant 12 ou 15 mois entiers. Dans les années froides et pluvieuses, sur un sol humide, et dans les bas fonds, on ne devrait jamais faire de coupes d'été, parce que les bois seraient piqués avant qu'ils pussent atteindre un degré convenable de siccité.

498. Après avoir abattu le bois, on doit le couper à une longueur déterminée, le fendre et le dresser par cordes. Il est assez avantageux que les bûches aient une grande longueur, pourvu qu'elle n'excède pas une certaine limite, celle de 6 pieds par exemple : on y gagne sous le rapport de la main-d'œuvre et l'on peut rassembler sous un même volume une plus grande quantité de bois.

Il vaut mieux scier les arbres que de les abattre à la hache. Lorsque le trait de scie est asssez avancé, on les fait tomber à l'aide de coins en fer qui servent aussi à déterminer la direction de la chute. Dégagé de ses branches, le tronc est scié en blocs ou billes, celles-ci sont fendues ensuite en deux ou en quatre, selon leur grosseur.

Les nœuds, qui ne peuvent se fendre et qui se piquent facilement, doivent être dépouillés de leur écorce, afin que la dessication en soit facilitée. Les rondins de 16 cent. de diamètre sont fendus une seule fois, lorsqu'ils sont plus faibles, on se borne à les écorcer *.

499. On doit transporter le bois des terrains marécageux ou des bas fonds, sur des hauteurs ou sur un lieu sec, pour le dresser par cordes et le soumettre plus tard à la carbonisation. Ces cordes doivent être le plus rapprochées qu'il est possible. Dans le dressage, il faut avoir soin d'éviter les espaces vides provenant des nœuds ou des sou-

* En France la carbonisation des bois suit immédiatement leur coupe ; on y carbonise des bois verts, du moins en Alsace, dans la Lorraine et les Ardennes. Il serait donc inutile de les écorcer ; ce procédé d'ailleurs ne conviendrait point à nos bois à charbon. Le T.

ches, et d'établir des courans d'air par-dessous, en asseyant les cordes sur des chantiers d'une assez forte grosseur.

On distingue le bois de quartiers des rondins, ou du bois de branchage, qui donne de bon charbon quoiqu'en petite quantité. Trois cordes de ce dernier ne sont comptées aux usines que pour deux de gros bois. Ce rapport satisfait le vœu de la justice, il doit concilier les intérêts des deux administrations. Si les deux espèces de bois ne sont pas cordées séparément, on doit placer les rondins ou les branchages dans la partie inférieure de la corde.

Les agens forestiers passent ordinairement un douzième de la hauteur des cordes pour compenser l'effet du retrait occasionné par la dessication.

Il est très-essentiel, pour ne point se tromper sur les mesures, que la base ou la couche de la corde soit horizontale. Il faut rebuter et renverser les cordes qui sont mal dressées ou qui contiennent trop de bois piqué et mort sur pied. A la réception définitive, elles sont examinées avec soin, marquées à la craie et martelées.

On fait avec les bûcherons des marchés pour couper, fendre et dresser le bois; cette méthode est préférable au payement par journées.

500. Quelque soin qu'on puisse donner à l'exploitation des bois, il n'est guère possible de scier les arbres immédiatement au-dessus de la surface du sol *. On abandonne toujours une petite portion du tronc, qui jointe aux grosses racines, donne un très-bon bois à charbon. Pour l'extraire de la terre, on fait autour de l'arbre une fosse assez profonde, on coupe les racines les plus fortes et on soulève la souche. Mais il vaut mieux que l'extraction se fasse avant que l'arbre ne soit coupé.

Le bois de souche, lorsqu'il est sain, donne des charbons

* En France, on les exploite à fleur de terre. Le T.

excellents; mais comme son extraction est dispendieuse, on en fait rarement usage dans les pays boisés. Il se corde mal, les racines qui s'étendent dans tous les sens, produisent des espaces vides, dont il est nécessaire de soigner le remplissage. L'enlèvement des souches est d'un grand intérêt pour l'administration forestière : c'est un moyen de préparer le terrain pour les semis, sans qu'il en résulte de frais pour le gouvernement.

501. La carbonisation se fait ordinairement sur les lieux même. On rassemble toutefois les cordes sur un seul point, lorsque le bois est répandu sur un vaste espace, que la pente du terrain est très-rapide, et que d'ailleurs on peut opérer le transport, soit par le flottage, soit en roulant les billes du haut des montagnes. Souvent aussi, on est forcé de le faire porter hors des coupes pour ménager le recru (comme pour les aunes et les bouleaux). Cette disposition nécessaire à la conservation des forêts, devient extrêmement onéreuse pour les usines.

Ce qu'il y a de plus avantageux pour ces dernières, c'est l'exploitation par coupes réglées, dans lesquelles les cordes sont assez rapprochées pour être réunies en tas par les charbonniers, autrement on est forcé de les faire voiturer avec des chevaux.

Si la carbonisation se fait sur un seul point, le charbonnier peut exercer une surveillance plus active, et le charbon ne souffre pas autant par le cahotage, puisque son trajet sera moins considérable; mais ces avantages sont loin de compenser les frais occasionnés par le transport du bois.

502. Si, dans les opérations en grand, on pouvait carboniser le bois dans des vaisseaux fermés hermétiquement, on obtiendrait le maximum de charbon qu'il est possible d'en retirer; mais la consommation en combustibles employés à l'échauffement des vases, détruirait tous les avantages qui résulteraient de ce procédé : on est donc obligé,

pour entretenir le degré de température nécessaire à la carbonisation, de brûler une partie du bois soumis à l'opération. Ce n'est que dans la fabrication du vinaigre et du goudron, que l'on emploie une chaleur extérieure : les dépenses en combustibles, sont payées alors par les produits de la distillation, et le charbon obtenu n'est qu'un objet accessoire.

On a maintes fois essayé d'opérer la carbonisation dans des fourneaux ; mais, autant que je sache, il n'en est résulté aucune économie : on en est toujours revenu à allumer le bois même, et à le convertir en charbon par une lente combustion. Il est évident d'ailleurs que la terre qui couvre les meules, s'affaissant à mesure que le bois se retire, le protège bien mieux contre l'action de l'air atmosphérique que les murs ou la voûte d'un fourneau *.

503. Je ne pense pas qu'on puisse obtenir une plus grande quantité de charbon dans les fourneaux de carbonisation que dans les meules, dont le travail est conduit avec le soin convenable, à moins d'employer des vaisseaux clos et de les chauffer extérieurement. L'acide et le goudron que l'on recueillerait alors, n'offriraient pas toujours un dédommagement des dépenses occasionnées par cette manière d'opérer, qui du reste serait impraticable pour les grands établissemens.

Quelques fourneaux de carbonisation sont pourvus dans

* On pourrait croire, au premier abord, que les espaces vides, qui se forment par l'affaissement du bois, dans les fourneaux dont les parois et le couvercle sont immobiles, devraient occasionner la combustion d'une grande partie de charbon ; mais il n'en est pas tout-à-fait ainsi. Les espaces vides se remplissent de vapeurs et de fumée ; et si l'opération est conduite avec beaucoup de ménagement, ces fluides élastiques doivent toujours se trouver en assez grande quantité dans le fourneau, pour qu'ils puissent s'opposer en quelque façon à l'entrée de l'air atmosphérique.

Le T.

la partie inférieure d'une grille. C'est à l'aide de cette grille qu'on établit le faible courant d'air qui doit entretenir la combustion. D'autres sont munis d'ouvertures pratiquées soit dans la sole, soit dans les faces latérales. On serre les bûches très-près l'une de l'autre, et leur diamètre est petit, afin que la grandeur des espaces vides soit diminuée autant qu'il est possible. C'est pour la même raison, que l'intérieur des fours doit être carré plutôt que rond; leur hauteur est calculée exactement sur la longueur des bûches ou *vice versâ*. Le feu doit se propager avec lenteur et uniformité, de la grille à la partie supérieure. On le gouverne par les soupiraux qu'on peut fermer à volonté.

Les vapeurs qui s'échappent du foyer, sont recueillies et conduites dans des vaisseaux réfrigérans. La partie supérieure du fourneau se trouve fermée soit par une voûte, soit par une plaque en fonte, qu'on enlève lorsqu'on renouvelle le chargement. On tire le charbon par une porte latérale, qui sert aussi à disposer le bois jusqu'à une certaine hauteur; cette porte se ferme avec des briques, lorsqu'on met le fourneau en activité *.

* On a décrit, dans le journal de l'Industrie nationale et étrangère, n^os^ 26, 27 et 28, un procedé de carbonisation qui, parmi les méthodes de son genre, paraît offrir quelques avantages. L'opération se fait dans des fourneaux de 9 pieds de profondeur et 10 de diamètre, construits en gazon ou creusés en terre, selon l'élévation du sol: leur partie supérieure est fermée par un couvercle en fer. On peut ou recueillir l'acide pyroligneux et le goudron qui se dégagent, ou négliger la récolte de ces produits de la distillation. Mais nous faisons observer que les quantités de charbon obtenues par l'auteur de ce procédé, n'excèdent pas celles que dans nos forges on obtient par les méthodes ordinaires: car 500 décastères de bois de chêne ne lui ont donné que 16000 hectolitres de charbon, ce qui fait 32 pour cent; et dans l'arrondissement des forges de la Moselle, on obtient ordinairement de 31 à 33 pour cent, quoiqu'on ne carbonise que des rondins, qui ont souvent un très-faible diamètre. Gassendi fixe cette quantité dans les mêmes forges, à 34,5 pour cent (Aide mémoire pour les officiers d'artillerie). Dans les usines de la Silésie, où

504. Dans d'autres fourneaux, le bois ne se carbonise, ni par l'accès de l'air atmosphérique, qui doit entretenir la combustion, ni par une chaleur extérieure. Des tuyaux de chaleur traversent en plusieurs sens ces fourneaux, et communiquent tous avec un tuyau principal qui donne une issue à la fumée. Les bûches doivent être serrées le plus possible. Les vapeurs qui se dégagent sont recueillies et condensées dans un appareil réfrigérant. On doit chauffer doucement lorsque le bois est humide, afin d'éviter les explosions. Dès que les vapeurs aqueuses sont chassées, on donne un coup de feu plus fort, jusqu'à faire rougir les tuyaux dont la chaleur se communiquant au bois, le convertit en charbon. On peut employer pour combustible de la tourbe, des branchages ou des copeaux. Au reste les avantages de cette méthode ne sont pas encore bien prouvés; mais il est très-facile de la mettre en pratique partout où l'on réunit le bois sur un seul point, pour en opérer la carbonisation.

505. Les usines carbonisent leur bois dans des *fosses*, en *tas* et en *meules :* la première de ces méthodes, qui

---

l'on carbonise du bois de quartier, on obtient de 48 à 50 pour cent (Voyez les paragraphes 495 et 531). Quand les charbonniers de ce pays travaillent à forfait, on exige d'eux qu'ils fournissent 48 de charbon pour cent de bois; le surplus leur est payé d'après des prix convenus. Si l'on adoptait le rapport fixé par M. Karsten, de l'effet du bois de quartier à celui du bois de branchage (499), on devrait retirer de ce dernier au moins 32 de charbon pour cent de bois, donnée qui s'accorde avec nos propres observations. L'ensemble de ces faits prouve donc évidemment que la carbonisation effectuée dans les fourneaux, par les meilleures méthodes, ne présente aucun avantage aux propriétaires d'usines à fer, à moins qu'ils ne veuillent spéculer sur les acides, et qu'ils ne comptent payer, à l'aide de ces produits de la distillation, les frais de transport du bois et les dépenses occasionnées par la construction des fourneaux. Ce n'est donc qu'en perfectionnant la carbonisation dans les meules couvertes de terre, qu'on peut rendre à l'art des forges des services signalés. Le T.

est probablement la plus ancienne, ne se pratique que très-rarement. Le bois rangé avec ordre dans des fosses, allumé dans la partie supérieure, couvert d'abord très-légèrement et ensuite avec une plus grande quantité de terre et de branchages, est abandonné à une lente combustion.

Les parois des fosses sont quelquefois revêtues de plaques en fonte ou d'un muraillement en pierre; quelquefois aussi, elles sont pourvues de canaux qui mettent la sôle en communication avec l'air extérieur, soit pour entretenir l'ignition, soit pour offrir une issue aux gaz que l'on veut recueillir, de sorte qu'elles constituent de véritables fourneaux. Cette manière d'opérer est très-defectueuse: on n'est pas le maître de gouverner le feu, on brise les charbons pour les sortir de la fosse, et l'on obtient une trop grande quantité de *fumerons**. Dans la chaîne de l'Ural, les fosses sont revêtues de murs, les bûches sont couchées et couvertes de terre. Dans l'un des petits côtés ainsi que dans la couverture, on ménage des ouvertures pour allumer la meule et pour faciliter la circulation de l'air.

506. Par la carbonisation en tas, le bois est soumis successivement à l'influence de la chaleur, et le charbon se tire à mesure qu'il est formé. Dans la carbonisation en meule au contraire, on ne tire le charbon que lorsque toute l'opération est achevée. Par l'une comme par l'autre méthode, les bûches réunies en masses considérables, couvertes de terre, sont chauffées et carbonisées par une combustion partielle.

507. La carbonisation en tas se pratique encore dans quelques contrées méridionales de l'Allemagne, en Russie et en Suède. Le bois est employé en troncs ou rondins.

* Ou *flamerons*, morceaux de bois à demi-carbonisés.

L'emplacement du tas, appelé aire ou faulde, a la forme d'un rectangle qui s'élève du devant vers le derrière, et dont les deux côtés latéraux sont les plus longs. Sur ceux-ci on enfonce de forts pieux espacés entre eux de 60 à 90 centimètres, et s'élevant d'autant plus qu'ils s'éloignent davantage du devant de la faulde. La pente donnée à cette dernière, varie entre 5 et 15 degrés, selon la pente du terrain. La longueur du tas est indéterminée et dépend de la quantité de bois qu'on veut carboniser.

L'écartement entre les deux lignes de pieux est de trois pieds plus grand que la longueur ou la double longueur des billes ou troncs; de sorte qu'il reste entre chaque extrémité de ceux-ci et la ligne de pieux qui lui correspond, un espace de 18 pouces qu'on remplit de fraisil.

Pour dresser la meule, on commence par placer sur la faulde, parallèlement aux grands côtés, quelques rondins de petits diamètres, sur lesquels on dispose ensuite, dans le sens perpendiculaire, les bûches qu'on veut carboniser. Retenues sur le devant par des bois courbes, elles ne doivent s'élever de ce côté que d'un pied au plus; tandis que du côté opposé, elles peuvent être entassées sur une hauteur de 10 à 15 pieds, selon la longueur de la faulde: sur le derrière du tas, les billes sont retenues par des pieux étançonnés. Il est essentiel que le bois soit le plus serré possible, que les extrémités des troncs soient bien alignées, et que les espaces vides laissés par des bûches trop courtes, soient remplis avec du petit bois.

Après que le tas a été formé de cette manière, on le couvre de tous côtés avec du fraisil humecté. Pour cet effet on appuie d'abord des bardeaux contre la face intérieure des pieux, pour fermer les intervalles qui existent entre eux, et l'on remplit ensuite avec du fraisil l'espace de 18° compris entre le bûcher et les bardeaux; pour garantir ceux-ci du feu, on les arrose fréquemment.

On allume le tas par devant. A mesure que l'ignition fait des progrès, on tire les charbons produits, et l'on a soin de conserver toujours à la base du tas sa forme rectangulaire. Pour cet effet, l'ouvrier doit avoir soin d'empêcher que le feu ne se propage trop rapidement sur l'un des côtés ou vers le milieu du tas. Il doit refouler souvent la couverture, afin qu'il ne s'y forme ni crevasses, ni cavités.

On prétend obtenir par ce procédé d'excellens charbons et en grande quantité, parce qu'on les tire à mesure qu'ils sont formés; mais c'est presque toujours à la lenteur de l'opération, et aux soins particuliers des ouvriers qu'on doit en grande partie les avantages qu'on attribue aux différentes méthodes de carbonisation.

508. Le bois qui doit être carbonisé en meule, reçoit aussi une longueur déterminée. On peut ou coucher les bûches et donner à la *meule* la forme d'un hémisphère, ou les dresser et lui faire prendre l'aspect d'un cône tronqué. Le charbonnier conduit le travail de la même façon pour l'une ou l'autre meules: la seule différence est dans l'arrangement des bûches.

509. La saison la plus convenable pour la carbonisation du bois, est l'été; soit parce qu'elle offre au charbonnier les objets indispensables à ses opérations, tels que le gazon, la mousse, le feuillage et l'eau; soit parce que le temps est moins humide, les ouragans moins fréquens, les journées plus longues, et que par suite la surveillance de l'opération est moins souvent interrompue. On ne devrait commencer la carbonisation qu'au mois de mai; avant cette époque, le bois et la terre sont encore chargés d'humidité; la neige et les ouragans sont les plus grands ennemis du charbonnier. Si quelquefois le climat et la nature du sol l'autorisent à continuer ses travaux pendant l'arrière-saison, il doit toujours les suspendre au temps équinoxial et pendant l'hiver.

510. Le terrain où l'on rassemble le bois pour le carboniser, doit être sec, abrité du vent et non sujet aux inondations. Une même faulde peut servir plusieurs fois, si l'opération se fait toujours au même lieu. On doit donc apporter plus de soin dans sa préparation : on ne devrait pas négliger en ce cas de la paver, ni de lui donner une pente vers le point central; parce qu'à l'aide de cette disposition, on pourrait recueillir sans dépense une partie de l'acide et du goudron qui se forment pendant la carbonisation, et qui s'écouleraient dans un réservoir pratiqué au-dessous du niveau naturel. Mais il ne faudrait point établir de courant d'air de bas en haut, en donnant du jour par la faulde.

Si l'on ne voulait pas recueillir l'acide et le goudron, on pourrait rendre les aires entièrement planes, les disposer au-dessus d'une fosse, les murer; placer au centre une large plaque de fonte, et allumer la meule en chauffant la plaque par-dessous; c'est un moyen d'éviter les espaces vides qui doivent nécessairement se former, quand on porte le feu dans l'intérieur de la meule *.

511. Lorsque la carbonisation a lieu dans la forêt, il est bien rare qu'on puisse profiter, à plusieurs reprises, d'un même emplacement, à moins que le bois n'y soit très-abondant ou qu'il n'ait été rassemblé sur un seul point. Le terrain est quelquefois si rocailleux et la pente si rapide, qu'on est obligé de se soumettre aux frais de transport, afin d'é-

* Ce procédé revient à celui de M. Brune, décrit dans les Annales des arts et manufactures, t. 5, p. 249 — 266. — Les maîtres de forges qui l'ont essayé, lui accordent un avantage incontestable sous le rapport de la quantité de charbon obtenu. Mais la confection des faulds en tôle supportées par un grillage en fer est dispendieuse, d'autant plus que la tôle exposée à l'action de la chaleur et de l'acide pyroligneux se corrode et se détruit assez promptement. Nul doute qu'on la remplacerait avantageusement par des plaques de fonte de 5 lignes d'épaisseur; mais ce procédé ne peut convenir que pour les usines qui carbonisent dans un très-petit nombre d'endroits. Le T.

viter des dépenses plus fortes qui résulteraient de l'établissement des faulde nouvelles. Pour les construire, il faut souvent miner et faire sauter le roc, établir des pilotages et des plates-formes de madriers, que l'on recouvre ensuite d'un pied de terre. Préparées de cette manière, les faulde sont d'un excellent usage; leur sol est sec, sans être ni trop compacte ni trop léger.

512. Le motif principal qui doit guider le charbonnier dans le choix d'un emplacement pour les meules, c'est la proximité du bois qu'on veut carboniser. Le voisinage de l'eau, ou la possibilité de se la procurer en creusant à une faible profondeur, est une considération qu'il ne doit pas négliger. Il faut que le terrain abrité des courans d'air, ne soit ni trop bas ni trop élevé; qu'il soit sec et disposé de manière que l'eau ne puisse y séjourner.

Après avoir trouvé un endroit qui remplisse ces conditions de la meilleure manière qu'il soit possible, on aplanit le sol, on le dépouille du gazon, on extrait les souches et les racines. Quelquefois on lui donne une légère pente du centre à la circonférence, pour favoriser l'écoulement des liquides.

Le charbonnier craint les terres légères, parce que l'air pénétrant au travers du sable de la base, l'empêche de conduire à son gré l'ignition du fourneau. Dans le cas opposé, lorsque le sol est compacte, rocailleux ou susceptible de se durcir par la chaleur, l'humidité ne pouvant s'infiltrer dans la terre, remonte dans la meule, éteint le feu et produit des fumerons. Il faut pour cette raison ne point opérer sur un terrain humide. Quand on ne peut l'éviter, on le couvre de branchages et de terre; quelquefois même on établit la faulde sur une plate-forme composée de troncs d'arbres jointifs, qu'on charge ensuite de terre et de fraisil *. L'emploi des bardeaux avec lesquels on la

* Ce fraisil est un mélange de poussière de charbon, de cendres et de terre. On l'appelle terre de charbonnier. Le T.

tapisse, présente beaucoup d'avantages, parce que leur transport est facile et qu'ils peuvent servir à plusieurs reprises. Ces sortes de précautions ne devraient jamais être négligées pour les terrains humides ou compactes.

Le défaut de succès, dans l'opération du charbonnier, ne provient souvent que de la négligence avec laquelle il prépare l'emplacement de la meule. Une faulde très-sèche, dont le terrain n'est pas assez léger pour laisser en-dessous un accès à l'air atmosphérique, ni assez compacte pour s'opposer à l'infiltration des liquides, remplit toutes les conditions qu'on peut exiger.

Faut-il préférer les fauldes fraîches à celles qui ont déjà servi ou *vice versâ?* C'est une question facile à résoudre, si l'on considère que, pendant la carbonisation, la terre s'imbibe d'humidité, et qu'après l'opération, il faut en renouveler la première couche, ce qui est d'autant plus nécessaire, que le fraisil absorbe l'eau avec une grande avidité. Tout dépend donc de la nature du terrain: on travaille mieux, tantôt sur des aires fraîches, tantôt sur des aires qui ont déjà servi; mais il faut éviter l'emploi des fauldes qui, couvertes de neiges pendant l'hiver, se sont chargées d'une grande quantité d'eau: si l'on voulait en faire usage, il faudrait d'abord les dessécher, en y brûlant de la mousse, des branchages, etc. Cependant, lorsque ces aires sont établies sur des grillages en bois, qu'on recouvre de fraisil, cette précaution n'est pas aussi nécessaire, parce que l'humidité trouve alors un passage par dessous.

Si le terrain est peu convenable au travail du charbonnier, et si l'on craint les dépenses qui résultent de l'établissement des grillages, quoiqu'elles ne soient pas très-fortes, on doit du moins améliorer les fauldes en faisant un mélange de terres grasses et de terres légères.

513. Après avoir préparé la faulde, on place au point

du milieu une perche verticale, autour de laquelle on dresse le bois par enveloppes concentriques. La grandeur des meules est très-variable; il en existe depuis deux jusqu'à dix mètres de diamètre. On préfère dans certains endroits les petites meules et ailleurs les grandes. Les premières exigent presque les mêmes soins que les dernières, dont la carbonisation peut en outre s'effectuer par un courant d'air plus faible, parce qu'elles développent une plus grande quantité de chaleur. Les grandes meules méritent donc la préférence, si toutefois on peut leur donner une bonne couverture. Cependant, le tout dépend plutôt de l'adresse et de la surveillance du charbonnier.

Les meules de 90 à 120 stères, se composent ordinairement de trois piles; celles qui sont plus petites n'en présentent qu'une ou deux. Dans tous les cas, il doit exister un certain rapport entre leur hauteur et le diamètre de la base. L'étage supérieur, composé de bûches dont l'inclinaison est bien plus forte, doit avoir une forme arrondie; on l'appelle le *petit haut*, et souvent aussi la *calotte* *. La quantité de charbon retirée du bois est plus forte, si les bûches sont faiblement inclinées à l'horizon.

Dans les meules à bois couché, les bûches se rangent autour de la perche en forme de rayon; mais de manière que les espaces vides soient remplis par du petit bois et que les diamètres des cercles diminuent à mesure qu'on s'élève, de sorte que le tas reçoit une forme hémisphérique.

514. On allume la meule au centre de la base: il faut donc placer à ce point quelques matières inflammables, comme du bois de pin ou du bois sec et menu. On y porte le feu par le vide que laisse la perche après qu'on l'a reti-

* La couverture s'appelle souvent le *bouge;* l'étage supérieur le *petit haut:* nous lui conserverons le nom de calotte. *Bouger, habiller* la meule, c'est la couvrir de feuillage, de terre et de gazon. Le T.

rée, ou par une galerie horizontale, ménagée au niveau du sol, et pénétrant jusqu'au centre du bûcher. Le vide formé par le mât ne serait pas assez spacieux; on est donc obligé de l'élargir, en construisant, à l'aide de trois pieux disposés en triangle, une espèce de cuve qui s'élève en même temps que le tas de combustible.

On n'est pas d'accord sur la manière la plus avantageuse d'allumer le bûcher: le mieux, c'est de porter le feu par la galerie; on peut alors se passer de la cuve dont le vide est plus nuisible au travail de la carbonisation que celui de l'ouverture horizontale. Quelle que soit du reste la manière d'allumer la meule, son traitement est le même: l'ignition doit se répandre dans l'intérieur, en partant toujours du centre de la faulde.

515. Dans les meules à trois piles, les plus grosses *billes* se placent dans celle du milieu. Les fumerons des opérations précédentes sont rangés autour de la perche, afin qu'on puisse élever la température rapidement, et qu'on n'augmente pas le déchet par une trop lente ignition.

Dans la pile inférieure, les gros bouts des bûches sont tournés en haut; dans celle du milieu, ils le sont en dessous. Cette disposition s'oppose au tirage et diminue la quantité de fumerons, en assignant au bois, selon sa grosseur, la place la plus convenable. C'est entre ces deux piles que la chaleur acquiert la plus grande intensité. Il faut éviter l'emploi de trop fortes bûches. Si la faulde n'est pas entièrement horizontale, on place les plus grosses billes au point le plus bas où le feu s'éteint plus lentement.

Le bois de quartier se dresse de manière que le cœur soit tourné vers le centre, afin qu'il reste moins d'intervalles entre les bûches. C'est aussi pour cette raison que les blocs ont la même longueur, et qu'on doit remplir les espaces vides formés par les ergots. Cependant il est impossible qu'ils soient tous remplis, surtout dans les meules dont les

bûches sont placées debout, parce qu'il faut toujours leur donner une légère pente, ne serait-ce que pour retenir la couverture.

L'ouvrier doit mettre, pendant le dressage, le plus grand soin à remplir les espaces vides, et à ne donner au bois que l'inclinaison strictement nécessaire; c'est particulièrement la construction de l'étage supérieur, de la *calotte*, qui réclame toute son attention. Il est impossible de serrer le bois convenablement, lorsqu'on veut terminer la meule en pointe. Il faut donc coucher les bûches du *petit haut* et les diriger dans le sens des rayons.

516. On doit chercher à donner aux meules une pente très-rapide, et à serrer les bûches le plus qu'il est possible: l'une et l'autre conditions sont plus faciles à remplir avec les meules à bois couché qu'avec celles dont le bois est debout. La manière la plus avantageuse de construire les meules à bois couché, consiste à ériger autour de la perche une petite meule à bois debout, dont la pente soit très-rapide; à ranger autour de ce noyau, des couches horizontales et de manière que les bûches soient toujours dirigées vers la perche.

On peut, à l'aide de cette disposition, diminuer les espaces vides; et malgré la rapidité de sa pente, la surface extérieure de la meule offre à la couverture de nombreux points d'appui, qui l'empêchent de s'ébouler, parce qu'elle est en forme de gradins, le retrait des bûches étant réglé par l'inclinaison du noyau. Les couches horizontales peuvent être composées d'une ou de deux longueurs de bûche, selon les dimensions du bois et celles qu'on veut donner à la meule.

Observons toutefois que ces meules mixtes demandent encore de plus grands soins pour la préparation des fauldes et donnent plus de fumerons que les meules coniques, si la carbonisation ne s'opère point sur un terrain sec et léger.

517. Le dressage des meules avec du bois de souche exige des précautions toutes particulières. On doit couper les racines qui embarrassent, et s'en servir pour garnir les vides. Au reste, si l'on ne peut y mêler d'autre bois, il est presqu'impossible de carboniser les souches avec avantage.

Le bois de quartier et le bois de branchages ne devraient pas être carbonisés ensemble, à moins qu'on ne fît servir ce dernier au remplissage. Lorsqu'on ne veut pas le carboniser à part, on ne doit l'employer que pour la calotte.

Le bois vert et le vermoulu donnent des charbons friables, qui sont quelquefois écrasés dans la meule et occasionnent le bouleversement de toute la masse: il faut donc aussi les traiter séparément.

On ne doit pas mêler le bois dur avec le bois tendre; celui-ci se carbonise plus promptement que celui-là. Cependant, lorsqu'on ne dispose que d'une faible quantité de l'une ou de l'autre espèce de bois, et qu'elle ne vaut pas la peine d'être traitée à part, on doit placer le bois dur vers le centre de la meule, dans l'étage du milieu, quand elle en a trois, et le bois tendre en dehors et dans la calotte.

518. Pour empêcher la combustion ou le contact de l'air sur un trop grand nombre de points, on couvre toute la meule d'une couche de terre. De cette manière on ne sacrifie qu'une partie du bois, pour produire la chaleur nécessaire à la carbonisation de toute la masse. Mais la terre pouvant s'insinuer entre les bûches, et éteindre le feu, on la place sur un lit de feuillages, de bruyère, de mousse, de gazon, ou même de feuilles de sapin, dont préalablement on enveloppe la meule. Ces différentes substances remplissent le but d'autant mieux qu'elles sont plus compactes. Le gazon vert, dont il faut tourner la chevelure vers le bois, est préférable à toutes les autres, à moins

qu'il ne soit très-maigre et très-incohérent; la mousse est moins bonne et les feuilles de sapin sont très-mauvaises.

Avant de couvrir la meule, on tâche d'en unir la surface; on remplit avec du bois, tous les intervalles laissés entre les bûches. En même temps, on fait au pied de la meule, 15 cent. au-dessus du sol, une ceinture composée de menus branchages et retenue dans des fourches de bois qui sont plantées en terre. Quelquefois aussi, on remplace ces branchages par de grosses billes de 1^m à $1^m,25$ de longueur, écartées l'une de l'autre, ou disposées sur des pierres convenablement espacées.

Cette ceinture sert de point d'appui à la couverture et ménage une issue aux vapeurs qui se produisent au moment de la mise en feu. Lorsque les meules sont grandes et que la pente de leur surface est rapide, on établit à la moitié de leur hauteur une seconde ceinture qui repose également sur des fourches enfoncées dans le terrain naturel.

519. Aussitôt que la meule est préparée de cette manière, on lui donne la première enveloppe composée de gazon ou de substances végétales, en commençant à la partie inférieure. L'épaisseur de cette enveloppe est de 8 à 13 centim. selon la qualité des matières employées : on la renforce à la calotte, afin que le feu qui se porte toujours vers cet étage ne puisse pas l'endommager.

Ce n'est qu'après cette opération préliminaire que la meule reçoit une couverture en terre. L'ouvrier se procure cette terre en creusant des trous, d'où quelquefois il retire aussi l'eau nécessaire à son travail. Une terre trop forte se crévasse par la chaleur, ne cède pas avec le bois à mesure qu'il s'affaisse et produit des cavités dans l'intérieur; le sable n'a pas assez de consistance pour adhérer à la couche de feuillage : il ne faut donc employer ni l'un ni l'autre. On peut se tirer d'embarras, en les mêlant, ou, lorsque la terre est légère, en donnant une pente plus douce à la sur-

face de la meule, ce qui pourtant est préjudiciable au succès de la carbonisation.

Le fraisil arrosé d'eau, forme la meilleure couverture; on devrait, quand on peut l'avoir, s'en servir à l'exclusion de toutes les autres substances. On peut même se passer alors de la première enveloppe et le mettre en contact immédiat avec le bois.

520. La couverture est en général d'une épaisseur uniforme, hormis à la calotte; on la renforce toutefois aux endroits où, par une raison quelconque, on doit craindre une éruption de la flamme, comme par exemple, au côté le plus long des meules inclinées, aux points où le bois se trouve plus petit, et principalement au côté tourné vers le vent. Le bois humide ou piqué ne doit pas être couvert aussi fortement que le bois sain. La couverture en terre a de 5 à 8 cent. d'épaisseur.

Pour en revêtir les meules, on ne suit pas toujours le même système; ici, on les habille en entier avant leur mise en feu; là on commence par le sommet; ailleurs, par les parties inférieures, et l'on n'achève l'opération qu'après le dégagement *des vapeurs épaisses et jaunâtres*. En suivant la première de ces méthodes, on doit ménager à ces vapeurs un libre passage au-dessous de la ceinture; et lorsqu'on y met les soins convenables, ce procédé doit mériter la préférence. En couvrant les meules par parties, on laisse plus d'issue à l'humidité, on les empêche de se déjeter; mais on consume une trop grande quantité de bois, et le charbonnier qui ne craint pas la peine de construire et de soigner la ceinture, peut éconduire les vapeurs, sans abandonner sa meule sur une si grande surface à l'action de l'air.

521. C'est toujours à la pointe du jour que la meule doit être mise en feu, puisqu'elle exige pendant les 16 premières heures la plus grande surveillance et qu'il est avantageux qu'on ait à cet effet toute une journée à sa

disposition. Il ne faut jamais l'allumer quand il fait du vent; le feu se porterait vers un seul côté, inconvénient auquel on ne remédierait que difficilement. Si l'ignition est trop faible, elle ne gagne pas en largeur, les régions inférieures restent froides, ou du moins la chaleur n'est pas assez forte pour chasser l'humidité du bois. Il en résulte une grande perte, et l'opération prend une mauvaise marche, parce que les vapeurs ne s'abaissent pas, pour sortir à travers les espaces vides laissés au-dessous de la ceinture inférieure; et, comme elles sont accompagnées de gaz hydrogène carburé, elles dérangent la meule et produisent des explosions. Il faut donc, en élevant la chaleur rapidement, s'en débarrasser au plus tôt et se rendre ensuite maître du feu.

Le bois contenant beaucoup de résine est plus sujet à faire naître des détonnations; il en est de même du bois très-sec, probablement parce que les vapeurs étant moins aqueuses, possèdent une plus grande élasticité. Le meilleur moyen qu'on puisse employer contre ces accidens, c'est de ménager aux gaz un libre passage au-dessous de la ceinture, en ne couvrant la meule à cet endroit, qu'avec du feuillage.

Un grand développement de chaleur, pendant la première période de l'opération, est nécessaire, non-seulement pour chasser les vapeurs, mais aussi pour entretenir la combustion, afin qu'on ne soit pas obligé de conserver par la suite un fort courant d'air. Si le feu est très-faible, la carbonisation ne peut avoir lieu que par une forte ignition du bois; dans le cas opposé, elle s'étend au loin et devient en partie un effet de la température qui règne dans toute la meule. Lorsque l'ignition se propage avec lenteur et que, vu la faible intensité de la chaleur, elle doit se communiquer de proche en proche à toute la masse du bois, les bûches allumées d'abord sont réduites en cendres avant que les autres puissent atteindre leur degré de cuisson.

Les premières vapeurs sont jaunes, aqueuses et pesantes; lorsqu'elles se dégagent, la meule se couvre d'humidité: on dit alors qu'elle est *en sueur*. Quand on l'habille par partie, il faut appliquer la couverture en terre, successivement aux endroits d'où il ne s'échappe plus de ces vapeurs jaunâtres *. Le succès de la carbonisation dépend de la rapide propagation du feu et de son uniformité. Si l'opération est mal conduite, pendant cette première période, la meule se déjette, le charbonnier consomme trop de bois, et prolonge le danger des explosions.

522. Pour accélérer l'embrâsement de la meule, on place autour de la perche, du bois très-sec dont on remplit les intervalles avec des fumerons. Cependant, il est visible que par l'incinération d'une partie du bois et par le retrait que subit l'autre en passant à l'état de charbon, il doit se former des espaces vides qui peuvent occasionner un affaissement inégal, et par suite le déchirement de la couverture. Lorsque l'ignition est trop lente et que la chaleur est trop faible, pendant la première période, ces accidens, quoiqu'ils arrivent plus tard, se répètent un plus grand nombre de fois; ils sont très-fréquens, si le bois est humide, parce qu'il laisse dégager plus long-temps des vapeurs épaisses et jaunâtres, et qu'il prend un retrait plus considérable.

On prévient les suites de ces accidens, en remplissant les espaces vides à mesure qu'ils se forment. Pour cet effet, le charbonnier monte sur la meule, la découvre au sommet, refoule le bois et le charbon, à l'aide d'une grande perche, et remplit ensuite le trou qu'il vient de former, soit avec des fumerons ou du bois, soit même avec du fraisil, qu'il

* Quelle que soit la méthode suivie, la couverture en gazon ou en feuillage doit toujours être donnée à la meule avant la mise en feu.
Le T.

ne doit employer toutefois que dans le cas d'urgence, et seulement pour les meules dont les bûches sont placées debout, attendu que cette substance s'oppose à la circulation du feu et de la chaleur. Cela fait, l'ouvrier remet la couverture dans son premier état; cette opération exige autant de précaution que de promptitude.

523. Lorsque la meule a été entretenue assez long-temps en sueur, on couvre le dessous de la ceinture avec du fraisil. On renforce la couverture avec des matières fraîches; on la resserre sur le bois à coups de perche, afin de boucher toutes les crevasses. On la laisse dans cet état pendant deux ou trois jours, en la maintenant à une chaleur uniforme.

Le charbonnier, dont le soin principal consiste alors à empêcher que le feu ne déploie sur quelque point une trop grande activité, couvre plus fortement le côté d'où vient le vent, celui qui est le plus bas dans les meules dont la base n'est point horizontale, ainsi que les endroits où sont placés les bois menus ou tendres.

Le fourneau doit s'affaisser uniformément, le contraire est un indice d'un tirage inégal et trop fort, dans ce cas, on obtient du charbon médiocre et en petite quantité. Si en renforçant la couverture sur un côté, on n'atteint pas le but qu'on se propose, il faut la percer de plusieurs trous au point opposé. Ce cas arrive fréquemment avec le bois pourri ou les meules qui sont déjetées.

524. Le dégagement des vapeurs acides et oléagineuses, finirait bientôt par étouffer le feu et arrêter l'opération, si l'on n'activait pas la combustion à l'aide des soupiraux pratiqués dans la couverture, qu'on perce avec le manche de la pelle. Mais le charbonnier doit procéder à cette opération avec beaucoup d'intelligence, soit pour ne pas embrâser la meule trop fortement, soit pour ne point attirer le feu sur un point plus tôt que sur un autre. Le

travail est d'autant mieux conduit que le courant d'air est plus faible et que la *cuisson* s'exécute avec plus de lenteur. L'ouvrier qui veut pousser son fourneau, en augmentant le courant d'air, obtient toujours de mauvais charbon et en petite quantité.

525. On dirige le feu à l'aide des soupiraux pratiqués au pied de la meule. Leur nombre dépend de l'ignition plus ou moins rapide du bois; ils sont espacés de plusieurs pieds. On les ferme entièrement aux endroits où le feu se porte avec violence. La manière de procéder avec ces soupiraux, quant à leur nombre et à leur grandeur, exige beaucoup de ménagement, surtout dans les premiers jours et lorsque le bois est humide ou gâté, afin qu'il ne s'en brûle pas une trop grande partie.

La meule conserve les soupiraux inférieurs durant toute la cuisson: elle reste dans le même état, sans en recevoir d'autres de 4 à 8 jours, ou pour mieux dire, jusqu'à ce que les espaces vides qui se forment par le retrait du bois, aient été remplis une deuxième fois. Le charbonnier reconnaît la nécessité de cette opération par l'affaissement de la calotte. Après l'avoir terminée et que le feu ne se porte plus dans la partie supérieure, il perce la couverture d'un certain nombre de trous, au milieu de la hauteur du fourneau, ou à la rencontre de l'étage du milieu et de celui de la base.

526. Les grandes meules reçoivent quelquefois aussi une troisième série de soupiraux qui se rapprochent davantage du sommet. Ce procédé est assez vicieux: le feu n'a qu'une trop forte tendance à se porter dans les parties supérieures: on ne pourrait donc avoir pour but que d'abréger le temps de la cuisson, ce qui serait une mauvaise manière d'opérer. Le bois contenu dans la calotte, peut se carboniser sans qu'il soit besoin de le mettre en combustion par un courant d'air; la chaleur est toujours assez forte dans les ré-

gions élevées; au lieu d'y favoriser le tirage, il faut plutôt l'empêcher, pour obtenir de bons produits et en grande quantité.

527. On acheverait la carbonisation en entier, et probablement de la manière la plus avantageuse, en ne faisant usage que des soupiraux inférieurs; parce qu'il ne s'agit que de modérer le feu, de le diriger et de l'attirer toujours vers la base. La deuxième série de soupiraux n'a réellement d'autre but, que de favoriser la carbonisation du bois placé à la surface de la meule; parce qu'en contact avec la couverture que l'on arrose fréquemment, ce bois qui est très-humide se carbonise avec lenteur. On doit donc en faciliter l'ignition: mais il ne faut pas que les ouvreaux soient très-rapprochés entre eux; le côté d'où vient le vent, doit en être privé totalement.

Ces trous restent ouverts tant qu'ils exhalent une vapeur noire et épaisse; on les ferme aussitôt que cette vapeur devient légère et bleuâtre, ce qui est un indice d'une entière cuisson des charbons vers cette hauteur. Alors à un pied plus bas, on perce la couverture d'une troisième série de soupiraux qu'on ferme quand ils commencent à rendre une vapeur légère; on continue de cette manière, jusqu'à ce qu'on soit arrivé aux soupiraux du pied de la meule. Si donc les bûches avaient quatre pieds de longueur, il faudrait à peu près trois séries intermédiaires d'ouverture.

Il est presque superflu de rappeler que pendant les jours où il fait du vent, on doit diminuer le nombre des ouvertures, humecter l'enveloppe et la resserrer à coups de perche.

528. Nous voici à la fin de la cuisson. La flamme commence à s'échapper par les soupiraux de la base; le manque de zèle ou de précaution de la part de l'ouvrier peut occasionner en ce moment une inutile combustion de charbons. Le travail a été parfaitement bien conduit, lorsque

le feu perce à la fois par toutes les ouvertures inférieures. Si dans un endroit, il tarde à paraître, c'est que le bois n'y est pas entièrement carbonisé; on fait alors à ce point, dans la couverture, plusieurs trous et l'on bouche en même temps tous les autres. Cette inégale cuisson provient ou d'un mauvais dressage, ou de grosses bûches, ou des fautes qu'on aura commises en gouvernant le feu.

La meule a changé de forme par suite de la carbonisation : non-seulement elle est devenue plus petite par le retrait du bois, mais la surface n'en est plus aussi régulière; elle présente des dépressions plus ou moins considérables, selon la manière dont l'opération a été conduite. On peut donc, par l'aspect du tas, juger en quelque façon de la qualité du charbon.

Un temps calme et même un peu humide est favorable à la carbonisation, pendant la dernière période; l'humidité de l'air et les petites pluies entretiennent la couverture en bon état.

529. Après avoir achevé la cuisson, on doit boucher toutes les ouvertures de la meule, la mettre à l'abri du contact de l'air atmosphérique et la laisser ainsi pendant 24 heures; c'est ce qu'on appelle *la rafraîchir*. En la maintenant dans cet état assez long-temps, on parviendrait à éteindre le feu entièrement; mais ne pouvant fermer tout accès à l'air, on éprouverait une perte considérable. L'expérience a prouvé d'ailleurs que les charbons étouffés de cette manière, ne sont pas d'une très-bonne qualité.

Au bout de 24 heures, on nettoie la meule. Le charbonnier enlève la première couverture avec un balai et la deuxième avec un rateau. Il choisit ensuite le sable ou le fraisil le plus fin et en recouvre toute la surface du tas. Les grains de ces matières s'insinuent entre les charbons, et finissent par les éteindre. La pluie est très-préjudiciable à cette opération.

530. La meule traitée de la sorte, reste 12 ou 24 heures, ou plusieurs jours dans le même état, selon les moyens de transport dont on peut disposer. Pour *tirer* le charbon, l'ouvrier fait à la base une ouverture qu'il referme avec du sable ou du fraisil, aussitôt que sur ce point, il a fait un certain vide; il continue de la même manière sur tout le pourtour, en rassemblant les charbons avec un rateau sur un tas alongé.

L'endroit de la meule où l'on commence à tirer le charbon, est balayé d'abord, ce qui fait tomber le sable qui doit étouffer le feu. La première fois on enlève le combustible sur une largeur de 3 ou 4 pieds; l'opération étant terminée sur tout le pourtour, on laisse reposer la meule de 12 à 24 heures pour achever de l'éteindre; on reprend le travail, mais avec cette différence qu'on enlève les charbons de la zône qui est immédiatement au-dessus de la précédente et sur une largeur moins considérable. On continue ainsi jusqu'à ce qu'on soit arrivé au sommet; cela fait, on recommence par la base.

Lorsqu'on exécute cette opération, il faut éviter autant qu'il est possible, les jours où il fait du vent. L'ouvrier doit user de ménagement pour ne point briser les charbons; il doit les examiner avec attention et éteindre avec de l'eau ceux qui sont encore allumés : il ne faut pas employer le sable à cet effet, à moins qu'on ne puisse se procurer de l'eau dans le voisinage.

531. Le temps qu'exige la meule, pour parvenir à la fin de la cuisson, depuis le premier moment de la mise en feu, dépend et de son volume et de son traitement. Six jours suffisent aux petites meules; il en faut 28 ou 30 pour celles qui ont de fortes dimensions. Lorsqu'elles contiennent 3000 ppp., on compte à peu près sur 14 à 16 jours. Le bois dur demande plus de temps que le bois tendre, le bois humide ou vermoulu plus que le bois sec et sain : le pro-

duit est meilleur et plus abondant, si la cuisson est lente. Mais il arrive souvent que des charbonniers, qui ont des manœuvres à leur solde, poussent les fourneaux de crainte d'éprouver des pertes. Il faut donc que le tarif de leur payement soit proportionnel à la quantité de charbon retiré du bois, qu'ils soient indemnisés sur ce pied pour le dressage, et qu'ils reçoivent en outre une prime lorsqu'ils dépassent une quantité fixée d'avance, celle, par exemple, de 50 parties de charbon, pour 100 de bois mesurées au volume.

532. Quelles que soient les précautions employées dans ce travail, on obtient toujours des fumerons, surtout en opérant sur un sol imprégné d'eau, et en traitant du bois humide. Il faut donc rassembler les fumerons vers la fin de la campagne et en achever la carbonisation.

En tirant les charbons, on en fait un triage selon leur grandeur; ceux qu'on obtient d'abord sont toujours les plus gros, parce que les bois placés vers le centre se consument davantage. Les plus grands sont destinés pour le haut fourneau, les petits pour les feux d'affinerie, et la braise, autrement appelée les *cœurs* *, pour le grillage des minérais et la préparation de la chaux.

Après avoir tiré les charbons, on les laisse encore une journée dans la *coupe*, pour s'assurer qu'ils ne contiennent plus de feu; mais ensuite, il faut les enlever avec promptitude, sur-tout lorsque le temps est à la pluie. On doit exécuter le chargement et le transport des charbons avec ménagement, pour ne pas les écraser. On emploie, pour le transport sur essieux, de longs paniers appelés *bannes*. Il est essentiel de prévenir la fraude des charbonniers et des voituriers, qui souvent rétrécissent les bannes avec des coins et des poutrelles, ou les serrent avec des chaînes et des cordages.

* Les cœurs sont les plus petits charbons qui sont au centre de la meule. Le T.

533. L'expérience a prouvé que les charbons récemment sortis de la meule, brûlent avec plus de facilité et produisent moins d'effet qu'après avoir séjourné quelques mois dans les halles. Il est difficile d'expliquer ce phénomène, qui ne dépend peut-être que d'un arrangement particulier de leurs fibres. M. Hassenfratz rapporte un essai fait en décembre 1809, dans un haut fourneau des forges de Beauchamp, avec des charbons frais et des charbons conservés deux années dans les halles. Les premiers portèrent moins de minérai et donnèrent, à égale quantité de minérai, une fonte moins chaude. Il ne paraît pas que cet effet puisse être attribué à un changement de composition survenu dans les halles; car les charbons trop cuits, éteints spontanément, brûlent aussi avec une grande rapidité, sans donner beaucoup de chaleur; cependant il serait possible que le charbon frais contînt une certaine quantité de gaz oxide de carbone ou d'acide carbonique, qui par la suite se trouverait déplacé par l'air atmosphérique. C'est peut-être à la présence de ces gaz qu'on peut attribuer l'infériorité des charbons frais.

Quoiqu'on ne doive pas user de charbons nouvellement cuits, il est cependant plus désavantageux encore de les conserver long-temps en plein air. L'humidité de l'atmosphère, lorsqu'ils en sont pénétrés, les détériore complétement: il faut donc les mettre à couvert sous des hangars.

Ce n'est que dans des circonstances extraordinaires, quand, pour des causes accidentelles, on est obligé de donner un plus grand développement à la carbonisation, qu'on doit entasser et conserver les charbons en plein air. On place alors les plus gros entremêlés de branchages, pour consolider le système, vers la surface du tas; mais une grande partie s'écrase et le déchet est considérable. Si l'on construit ces tas dans les forêts, il faut choisir des emplacemens secs, aérés et non ombragés; mais il vaut

mieux les établir à côté de l'usine, parce que les charbons qui ont séjourné à l'air sont trop sujets à se briser dans le transport: on doit d'ailleurs les couvrir pour les protéger contre la pluie; ils seraient perdus sans cette précaution qui est indispensable. Les charbons frais absorbent souvent de 10 à 20 p. % d'air et d'eau, et si on les laisse exposés long-temps à l'humidité, leur poids peut devenir jusqu'à 5 fois aussi fort qu'il l'était d'abord.

534. Le charbon végétal qui est d'une bonne qualité, doit se consumer lentement à l'air atmosphérique, sans brûler avec flamme; il ne doit être ni friable ni tachant; il faut qu'il soit dur, compacte, aigre, sonore, d'une couleur noire parfaite, d'une pesanteur spécifique moindre que celle de l'eau; enfin sa cassure doit être brillante et conchoïde.

Les métallurgistes sont encore divisés dans leurs opinions sur la qualité des charbons obtenus, dans des meules et dans des fourneaux.

L'opinion de Garney sur les charbons obtenus par la distillation n'est nullement fondée: ces charbons sont d'une excellente qualité, portent beaucoup de minérai, et donnent, par conséquent, un haut degré de chaleur; mais ils exigent naturellement un vent plus fort*. En général, l'effet des charbons à volume égal dépend entièrement de leur pesanteur spécifique. Les charbons les plus lourds sont aussi les moins inflammables et demandent,

* Il est possible que le charbon provenant d'une lente distillation du bois, dans des vaisseaux clos, soit d'une très-bonne qualité; mais ce n'est pas ce procédé qu'on suit pour l'ordinaire dans les fabriques d'acide ou de goudron, parce que le produit principal en serait diminué. On est obligé de donner un coup de feu très-violent, afin de terminer l'opération en cinq ou six heures; le charbon devient alors léger comme celui qui, dans les meules, a éprouvé une chaleur trop intense ou trop prolongée.

Le T.

pour brûler, un vent plus rapide ou un air plus comprimé.

Les charbons pénétrés d'eau, c'est-à-dire, ceux qui ont éprouvé long-temps l'humidité de l'atmosphère (une pluie passagère ne leur fait point de mal), ne peuvent plus servir aux travaux métallurgiques : ils ne brûlent qu'à force de vent, et toute la chaleur semble alors être employée à la vaporisation de l'eau qu'ils contiennent. L'effet des charbons dépend donc de leur siccité, de leur pesanteur spécifique et de la densité de l'air qui doit opérer la combustion.

DE LA TOURBE ET DU CHARBON DE TOURBE.

535. La tourbe, dont la formation est si nouvelle, présente, comme on doit s'y attendre de nombreuses variations dans ses parties composantes et dans les effets qu'elle produit, comme matière combustible. Ces variations dépendent moins de la nature des plantes auxquelles elle doit son origine, que de son degré de compacité et de la présence des terres dont elle est souillée.

Beaucoup de tourbes sont si intimement mélangées avec des terres, des sulfures et des phosphures de fer, qu'on ne pourrait les en séparer, à moins de détruire le tissu et de changer la nature de ces combustibles. Elles contiennent quelquefois tant de pyrites qu'on les utilise très-bien pour la fabrication du vitriol. D'autres espèces ne sont formées que de plantes, et ne donnent pour résidu de l'incinération que les cendres contenues dans ces végétaux. C'est cette grande différence dans la dose des terres combinées ou mélangées avec la tourbe, qui modifie l'effet qu'elle produit dans la combustion. Son inflammabilité et la chaleur qu'elle peut développer, dépendent donc de la pureté de sa composition et de sa pesanteur spécifique. Il en est de très-légères contenant très-peu de matières combustibles sous un

volume donné ; et d'autres, qui aussi pures que celles-ci, sont pesantes et composées de filandres tellement serrées entre elles, que pour leur effet, elles peuvent égaler les bois blancs.

C'est d'après leur plus ou moins grande pureté, et la compacité de leur tissu, qu'on distingue les tourbes par la désignation de *piciformes*, *limoneuses*, *papiracées* et *filandreuses :* cette division n'est motivée par aucune raison scientifique. Souvent aussi elles tirent leur nom du lieu d'où elles proviennent, parce qu'elles ne portent pas un caractère distinctif qui puisse servir de base à une classification raisonnée. On ne peut bien juger de leur qualité que par la combustion ; elles sont d'autant meilleures qu'elles s'allument avec plus de facilité, qu'elles brûlent plus long-temps et qu'elles laissent moins de cendres. Il suit de là que les succès qu'on peut obtenir de l'emploi de la tourbe, dans les travaux métallurgiques, dépendent en grande partie des localités.

536. Ce qui précède peut expliquer les nombreuses contradictions qu'a fait naître la comparaison de l'effet de la tourbe avec celui du bois. On ne devrait jamais oublier de faire mention dans ces essais, ni de la pesanteur spécifique du combustible, après l'avoir desséché à la chaleur de l'ébullition de l'eau, ni de la quantité de cendres qu'il fournit.

La terre mélangée à la tourbe est nuisible, non-seulement parce que l'espace qui est occupé par elle, pourrait l'être par la matière combustible, mais aussi parce qu'elle retarde la combustion, en augmentant la quantité de cendres qui empêchent le contact de l'air atmosphérique. La tourbe est en général d'autant plus mauvaise, qu'elle est plus légère et qu'elle donne plus de cendres. Il en est qui contient une si grande quantité de terre, qu'elle ne peut servir à aucun usage.

537. La tourbe pure s'emploie avec beaucoup de succès pour tous les feux de flamme. M. Wagner conclut de ses expériences, que dans les fours à tôle, on use un peu plus de deux fois autant de tourbe que de bois, mesurés au volume. Desséchée, on peut l'employer pour refondre le fer cru; mais on doit établir alors un tirage considérable dans les fours à reverbère. Elle est d'un très-bon service dans les verreries et les manufactures de porcelaine. Ce sont les localités, le point de vue commercial qu'on doit interroger sur la préférence que mérite le bois ou la tourbe. Au reste une des premières conditions de l'emploi de ce combustible est une parfaite siccité.

538. MM. Mushet, Thomson et Bucholz ont fait des expériences sur les quantités de charbon renfermées dans des tourbes.

Celles qui ont été examinées par Mushet, contenaient de 0,151 à 0,252 de charbon, de 0,726 à 0,728 de substances volatiles dégagées par la carbonisation, et de 0,022 à 0,121 de cendres. Si l'on admettait qu'il n'y a point de cendres perdues dans la carbonisation, il s'ensuivrait que ces charbons de tourbe en contiendraient de 0,08 à 0,44 parties.

Une espèce de tourbe soumise à l'expérience par Thomson, donna 0,24 de charbon, 0,017 de cendres, et 0,743 de parties volatiles. Le charbon ne contenait donc que 6 et demi pour cent de cendres.

Quatre espèces de tourbes analysées par Bucholz, donnèrent 0,255 de charbon, 0,215 de cendres, et 0,53 de parties volatiles; 0,19 de charbon, 0,23 de cendres, et 0,58 de parties volatiles; 0,165 de charbon, 0,305 de cendres, et 0,53 de parties volatiles; 0,17 de charbon, 0,30 de cendres et 0,53 de parties volatiles. Il s'ensuivrait donc que les charbons de ces tourbes contien-

draient 45 et demi, 54 trois quarts, 65 et 64 pour cent de cendres.

La tourbe donne par la carbonisation les mêmes produits que le bois; mais on en retire moins d'acide, et presque toujours une certaine dose d'ammoniaque.

539. M. Chamisso a fait connaître beaucoup de plantes qui entrent dans la constitution de la tourbe. Il résulte surtout de ses recherches que ce combustible a été formé dans l'eau douce et qu'il s'y forme encore sous nos yeux. M. Poggendorf trouva dans les cendres de la tourbe les mêmes corps qui constituent les cendres du bois; mais outre l'oxide de fer, il y rencontra aussi de l'alumine qui ne se présente pas dans les cendres végétales; on doit l'attribuer aux terres mêlées à la tourbe et provenant du sol qui lui donne naissance. Cependant les cendres des tourbes les plus pures, ne contiennent jamais des sels alkalins qui, à ce qu'il paraît, ont été dissous par les eaux pendant la formation de ce corps.

Il existe de la tourbe qui renferme à peine 1 p. % de cendres et qui, par une lente carbonisation, donne 26 à 28 p. % de charbon, comme les fibres ligneuses qui n'ont pas encore éprouvé de décomposition (488—489). Si un pareil charbon de tourbe ne vaut pas le charbon de bois, on ne peut en chercher la cause que dans la grande légèreté de ce combustible.

540. Lorsque la tourbe donne beaucoup de charbon, on doit toujours craindre qu'elle ne soit souillée par une trop grande quantité de terre. Il n'en existe presque pas qui soit entièrement pure; on en trouve souvent qui contient 10, 15, 20 p. % de terre composée presque toujours d'alumine mêlée avec un peu de silice, ce qui rend les cendres de cette tourbe extrêmement réfractaires et s'oppose à leur emploi dans les hauts fourneaux.

541. Les essais les plus positifs sur l'emploi de la tourbe

crue dans les hauts fourneaux, sont dus à M. Wagner: il en résulte, ainsi que des expériences qu'on a faites dans un haut fourneau près d'Admont, en Styrie, au pied du mont Lichtmesberg et dans les usines royales de Malapane et de Creutzbourg (Haute-Silésie):

1° Que la tourbe crue ne peut être substitnée au charbon de bois; que cependant on peut ajouter à ce charbon un tiers de bonne tourbe desséchée, prise au volume, lorsque le fourneau est en bonne allure;

2° Qu'on épargne par cette addition un cinquième ou un quart de charbon;

3° Que la grande quantité de cendres rend les laitiers visqueux et avides de fer;

4° Qu'il faut, pour régler le fourneau, cesser de temps à autre d'employer la tourbe;

5° Qu'elle diminue le produit des minérais ainsi que la production journalière, et que son emploi n'est pour cette raison d'aucun avantage, du moins pour les fourneaux, qui avant *la mise hors*, doivent faire de longues campagnes. Ajoutons que la tourbe contient presque toujours des pyrites dont le soufre agit d'une manière nuisible sur les produits.

L'économie en charbon que produit l'emploi de la tourbe crue, ne peut offrir un dédommagement des dépenses qu'occasionnerait l'augmentation de la masse du combustible employé alors, ni de tous les inconvéniens qui résultent du mélange. Il n'est point douteux qu'on ne puisse employer la tourbe toute seule au traitement des minérais, mais on en brûlerait une si grande quantité, que les frais de l'extraction du fer en dépasseraient la valeur: le travail serait extrêmement difficile, les engorgemens de l'ouvrage très-fréquens et la fonte deviendrait blanche.

En tous cas, c'est à l'état de charbon qu'il faudrait employer la tourbe pour le traitement des minérais, si elle

contenait assez peu de cendres pour laisser espérer quelques avantages. M. Moser a fait tout récemment des expériences sur l'emploi de la tourbe dans un haut fourneau à Weissenhaid. Le succès a été tel, dit-on, que le charbon de tourbe produisait plus d'effets qu'une égale quantité de charbon de bois résineux. Cependant le peu de durée de ces expériences doit inspirer quelque doute sur le résultat annoncé.

L'emploi de la tourbe crue pour *l'affinage de la fonte*, n'a pas été heureux non plus. C'est encore à M. Wagner que nous devons à ce sujet des expériences précises. En ajoutant à la masse du combustible ordinaire, un sixième en tourbe crue, il n'a économisé qu'un dix-huitième de charbon; mais le fer est devenu brisant à chaud, et la fonte a subi un déchet très-considérable. Si la tourbe contenait une grande quantité de cendres, il se pourrait même que l'affinage devînt impraticable; parce que tout le métal serait employé à la vitrification des terres: il s'ensuit que le charbon de tourbe, quoique préférable à la tourbe crue, ne donnerait pas non plus des résultats avantageux.

Quant à la possibilité d'employer la tourbe crue pour l'affinage de la fonte dans les fours à reverbère, on ne peut l'évoquer en doute; on trouvera souvent de ces combustibles qui mériteront, pour cet usage, la préférence sur certaines espèces de houille.

Dans tous les travaux où il ne s'agit que de chauffer le fer, les maîtres de forges, lorsqu'ils peuvent avoir la tourbe à bon compte, devraient s'imposer l'obligation de l'employer: à l'état cru, elle alimente les fours à reverbère; carbonisée, elle remplace le charbon de bois dans les feux de chaufferie, de casserie, de platinerie, de rebatterie de boulets, etc., etc.

D'après les expériences qu'on a faites dans les forges de Creutzbourg, en 1797, le charbon de tourbe brûlé dans

un feu de chaufferie pour la fabrication de la verge crenelée, a rendu presque le même service qu'une égale quantité de charbon de bois prise au volume. Il faut ajouter encore que dans ces feux, la tourbe *crue* comme le bois, brûlerait trop rapidement sans agir avec assez de force sur un seul point, et que par le dégagement d'une si grande quantité de gaz qui absorberait une partie du calorique, la chaleur deviendrait extrêmement passagère.

Les cendres de tourbe, si nuisibles dans le haut fourneau, vu leur grande abondance, produisent dans les foyers de chaufferie un bon effet; elles sont vitrifiées à la chaleur blanche et fournissent au fer une enveloppe qui le protège contre l'action de l'air, sans augmenter le temps de l'échauffement. Plus légère que le charbon de bois, la tourbe carbonisée donne beaucoup de chaleur et de flamme dans un air qui n'a qu'une faible pression : on pourrait donc, en couvrant le foyer d'une voûte, employer plus utilement la chaleur dégagée.

N'ayant pu nous procurer de bonne tourbe dans la Haute-Silésie, nous avons été forcé d'interrompre les expériences; mais je regarde comme un devoir de ma part de recommander l'usage des charbons de tourbe pour les feux de chaufferie.

542. Le sidérurgiste chargé souvent de l'extraction de la tourbe, doit avoir des notions sur les procédés à suivre pour ouvrir et exploiter les tourbières; il doit savoir coordonner les fossés d'écoulement, diviser le banc, le déblayer, l'attaquer à l'endroit convenable pour obtenir l'entaille la plus profonde, et distinguer les saisons dans lesquelles ces travaux doivent s'exécuter. La tourbe coupée d'après les dimensions prescrites, est mise en tas ou en piles pour être séchée, et carbonisée ensuite ou conservée sous des hangars. Celle que l'on veut convertir en charbon doit avoir acquis un très-haut degré de sécheresse; humide, elle se

carbonise difficilement, subit un grand déchet et donne un mauvais produit.

543. On carbonise la tourbe dans des fourneaux, dans des fosses ou en meules. La carbonisation en meules ou en plein air mérite la préférence sur les autres méthodes, parce que le charbon y reçoit une cuisson complète.

Pour carboniser dans les fourneaux, on fait usage de vaisseaux en fer qu'on chauffe extérieurement; ce procédé, quoique dispendieux, ne donne pas de très-bons produits. On peut employer aussi des fourneaux construits en pierres et pourvus de grilles, comme les fourneaux qui servent à carboniser le bois; mais il arrive souvent qu'une grande partie du charbon étant trop brûlée, passe à l'état de braise avant que l'autre ait subi l'action du feu: car la tourbe, pour être parfaitement carbonisée, demande un degré de chaleur plus considérable que n'en exige le bois.

On carbonise aussi la tourbe dans des fosses, en faisant dans la terre un trou circulaire de 3 pieds de diamètre et de 3 pieds de profondeur; on le remplit de tourbe qu'on y dispose de manière à laisser dans l'axe du trou, un vide de 6 pouces de diamètre. On place à la base de cette espèce de cheminée, du menu bois pour déterminer la combustion. Après que la fosse a été quatre heures à peu près en feu, la flamme perce en dehors, et les morceaux de tourbe commencent à s'affaisser; on se dépêche alors de les recouvrir de gazon et de terre pour étouffer le feu. Au bout de 24 heures, le charbon est presqu'entièrement éteint. Mais il n'est guère possible que par cette méthode la carbonisation pénètre dans toute la masse du combustible. Ne pouvant diriger le feu, on obtient beaucoup de braise et de fumerons. Il arrive souvent qu'un des côtés est réduit en cendres, tandis qu'au point opposé, on retrouve encore de la tourbe crue.

Les morceaux de tourbe, pour être carbonisés *en meu-*

les, sont disposés en tas réguliers, et de manière à ne laisser entre eux que le moins d'intervalle possible; c'est une raison de préférer cette méthode à la carbonisation dans des fourneaux, qui sont presque toujours chargés tumultueusement. Les mottes destinées à être converties en charbon, reçoivent des dimensions plus considérables qu'on n'en donne à celles qui sont brûlées à l'état brut: les premières ont ordinairement 15 pouces de longueur, 6 de largeur et 5 d'épaisseur: elles doivent être, comme nous l'avons déjà fait observer, dans un état de siccité parfaite.

Les meules de tourbes sont construites et traitées de la même façon que les meules de bois; mais elles sont plus petites: il y entre tout au plus 5 à 6000 mottes, ce qui fait un volume de 1500 pieds cubes. On les allume à l'aide de bois résineux placés au centre de la base. Après avoir préparé la faulde, on y dresse un mât autour duquel on range les morceaux de tourbe en cercles concentriques, et de manière qu'ils soient placés de champ et inclinés vers le centre. On établit au niveau de la base et sur les points cardinaux, quatre galeries dont on se sert pour allumer la meule, pour fournir l'air nécessaire à la combustion, et pour gouverner le feu; elles sont assez spacieuses pour recevoir un morceau de tourbe entier. Afin d'assurer la régularité de la construction, on attache à l'extrémité du mât, une corde avec laquelle on trace les cercles concentriques. La rapidité de la pente qu'il faut donner aux meules ne dépend que de la substance terreuse qui doit servir de couverture.

Lorsque la meule est construite, elle reçoit d'abord la première enveloppe composée de feuillage, de bruyère, de mousse ou de gazon, et ensuite la couverture en terre; mais le sommet, sur un espace d'un pied carré, reste à découvert. Ensuite on allume, à l'aide d'une des galeries horizontales. On ferme les *ouvreaux* exposés au vent, et on laisse

plus ou moins de jour aux autres; aussitôt que la flamme commence à se montrer, on couvre aussi le point culminant, et l'on pratique des soupiraux dans la calotte.

L'aspect de la fumée qui s'échappe par les ouvreaux de la meule, joint à la plus ou moins grande facilité avec laquelle on perce la tourbe au moyen d'une broche en fer, sert à faire juger du degré de cuisson.

Lorsque la carbonisation paraît terminée, on bouche les ouvreaux de la calotte, on en fait une deuxième série, à un pied au-dessous de la première, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on soit arrivé au pied de la meule.

La tourbe doit être attaquée par le feu, plus fortement que le bois, parce qu'elle brûle avec plus de difficulté; cependant, il en existe dont la carbonisation, comme celle du bois, demande beaucoup de ménagement. Les meules sont nettoyées et refroidies de la même manière que les meules de charbon de bois. Si le travail a été bien conduit, on obtient de 30 à 40 pour cent de tourbe carbonisée, prise au volume.

DU BOIS FOSSILE, DE LA HOUILLE ET DU COKE.

544. Les minéraux combustibles, qui, par la distillation, donnent du charbon pour résidu, sont au charbon qu'on en retire, ce que le bois est au charbon de bois. De même que Rumford, par suite de ses expériences, admet que le charbon est entièrement formé dans le bois, Proust a voulu prouver qu'il est aussi tout formé dans les substances charbonneuses du règne minéral. Quoi qu'il en soit, on ne l'obtient pas en entier; une grande partie de cette matière entre dans la composition des différens produits de la distillation.

Il paraît donc que le résidu doit son existence, non-seulement à la quantité de carbone contenue dans le corps,

mais aussi aux proportions des divers composans, et qu'on peut regarder le charbon, tout aussi bien que les autres produits, comme formé par la distillation. Les substances résineuses analysées par M. Hachett en fournissent un exemple frappant: mises en digestion dans l'acide sulfurique, elles ont donné de 0,43 à 0,67 de charbon; tandis que, distillées dans des vaisseaux clos chauffés jusqu'au rouge, elles n'en ont laissé que de 0,005 à 0,045. Le copal qui, traité par l'acide sulfurique, donne, d'après ce même chimiste, 0,67 de charbon, serait certainement compté parmi les matières charbonneuses, si, par la voie ordinaire, on pouvait en retirer une si grande quantité.

En considérant que, traité par divers acides, un combustible ne produit pas toujours la même dose de charbon, et que certaines houilles en donnent par l'acide nitrique au-delà de leur propre poids, on doit être convaincu que les charbons obtenus par la voie humide ou par la voie sèche, n'ont pas la même composition.

La quantité de charbon retirée d'un combustible par distillation, dépend donc autant des proportions qui existent entre ses divers composans que du carbone qu'il renferme: le bois qui, d'après les analyses de MM. Gay-Lussac et Thénard, contient 0,52 de charbon en fournit 0,25 à 0,27; tandis que le copal qui en contient, 0,17 de plus, en donne beaucoup moins. La dénomination de matière charbonneuse, appliquée aux combustibles minéraux d'une couleur brune ou noirâtre n'est pas exacte, parce qu'elle paraît supposer l'existence du charbon formé dans ces corps, ce qui n'est pas mieux prouvé que pour le bois et pour le copal.

545. Les minéralogistes divisent la houille en houille brune*, houille noire et houille éclatante, ou anthracite;

* Houille brune, braunkohle. Le T.

Werner ajoute encore à cette division le charbon minéral comme une quatrième espèce. Les transitions de l'une à l'autre sont insensibles; il existe des échantillons qui laissent toujours quelque doute sur leur classement: la raclure jointe à l'éclat ne suffit pas toujours pour faire juger de l'emploi qu'on doit en faire dans les différens travaux métallurgiques. Il est probable qu'on ne trouvera jamais pour les houilles une classification qui puisse aussi indiquer leurs propriétés considérées comme combustibles.

Nous donnerons pour mémoire, trois tableaux de classification selon les systèmes actuels les plus connus: c'est-à-dire, ceux qui ont été suivis par Karsten, Werner et Voigt. Ces systèmes sont établis, soit d'après des principes de géognosie, soit d'après un enchaînement de transitions, qui lient ces combustibles d'un côté par la houille brune aux végétaux, de l'autre par l'anthracite au règne minéral.

SYSTÈME DE KARSTEN.	SYSTÈME DE WERNER.	SYSTÈME DE VOIGT.
(I) *Houille brune.*	(I) *Houille brune.*	(I) *Houille brune.*
1. Terreuse.	1. Bois bitumineux.	1. Houille piciforme.
2. Fibreuse.	2. Houille brune terreuse.	2. *id.* scapiforme.
3. Commune.	3. Terre alumineuse.	3. *id.* de Kilkenni.
4. Grenue.	4. Houille brune commune.	4. *id.* éclatante.
5. Trapézoïdale.	5. Houille limoneuse.	5. *id.* limoneuse.
		6. Bois bitumineux.
		7. Houille brune commune.
		8. Bois bitumineux terreux.
(II) *Houille noire.*	(II) *Houille noire.*	(II) *Houille noire.*
1. Piciforme.	1. Piciforme.	1. Houille schisteuse.
2. Scapiforme.	2. Scapiforme.	2. Schiste houiller.
3. De Kilkenni.	3. De Kilkenni.	3. Houille lamelleuse.
4. Schisteuse.	4. Schisteuse.	4. Houille de suie.
5. Lamelleuse.	5. Lamelleuse.	5. Houille argileuse.
6. Grossière.	6. Grossière.	
7. Houille de suie. (*Russkohle.*)		
(III) *Anthracite.* Blende charbonneuse.	(III) *Houille éclatante.*	
1. Commun.	1. Conchoïde.	
2. Scoriacé.	2. Schisteuse.	
3. Graphitiforme.		
4. Onduleux.	(IV) *Charbon de bois minéral.*	
5. Fibreux.		
6. Ligneux.		

Ces subdivisions n'ont de rapport qu'à la forme exté-

rieure, qui est soumise à des variations accidentelles. Une seule basée sur la géognosie paraît caractéristique, c'est celle de la houille brune, parce que cette espèce est toujours de formation postérieure à la houille noire. L'une est plus jeune ou tout au plus contemporaine de la craie, tandis que l'autre est toujours plus ancienne. Cependant, cette subdivision ne reposant que sur des caractères géognostiques, est tout-à-fait indépendante des propriétés de ces combustibles.

546. Il n'est plus permis de douter que la houille noire et la houille brune, ne doivent leur origine à des plantes qui, ensevelies sous terre et recouvertes par de nouvelles formations de terrain, ont subi une décomposition spontanée. Les résultats de cette opération diffèrent de ceux que montrent aujourd'hui les substances végétales ou animales qui se décomposent spontanément; cependant on peut expliquer ces différences soit par les propriétés particulières de ces corps, soit par les circonstances qui ont présidé à ce travail de la nature. Considéré sous le rapport de la concentration de la matière charbonneuse qui en est résultée, on peut le regarder comme une véritable carbonisation; mais cette concentration ne s'est pas toujours effectuée de la même manière: tantôt c'était l'oxigène, tantôt c'était l'hydrogène qui a été dégagé en plus forte proportion. Le charbon de terre se distingue donc essentiellement du charbon de bois obtenu soit par une élevation de température (488), soit au moyen des acides; parce que dans l'un et dans l'autre cas, la décomposition étant provoquée toujours par les mêmes agens, ne doit présenter que des différences relatives à son degré de perfection. On peut même en conclure que la carbonisation naturelle, si on veut l'appeler ainsi, ne pouvait être produite ni par la chaleur, ni par un réactif quelconque, et qu'elle a été le résultat d'une décomposition spontanée.

547. Il existe certaines espèces de houilles brunes que l'on confondrait sous tous les rapports avec la houille noire, si l'on ignorait leurs gisemens. Cependant il n'est point probable que la houille brune se changera un jour en houille noire, ou que cette dernière se convertira, par la suite des siècles, en graphite ou en anthracite de terrains primitifs; quoique tous ces corps aient une origine végétale, et que les diverses espèces de houilles puissent encore se décomposer, tandis que le graphite et l'hantracite sont les produits d'une décomposition parfaite.

548. Considérés sous le rapport chimique, l'anthracite et le graphite sont des charbons purs, qui probablement ne contiennent ni oxigène, ni hydrogène, et qu'on trouve seulement souillés par la roche qui les renferme. Ils ressemblent au graphite artificiel qu'on obtient dans les hauts fourneaux, bien que ce dernier ne soit pas mélangé avec des substances étrangères. Le charbon de bois, lors même qu'il est très-pur, diffère essentiellement de ces substances charbonneuses par une plus grande combustibilité due à la nature de son tissu. Si la combustibilité du charbon n'était diminuée que par la présence accidentelle de corps étrangers, le graphite et le diamant qui sont des charbons purs, devraient être très-combustibles, et comme le contraire est connu, on ne peut expliquer la difficulté qu'on éprouve à les brûler que par la compacité de leur texture. C'est ainsi que des cokes durs et pesans, quoique bien purs, résistent souvent à un vent faible, et ne peuvent brûler que dans un air très-condensé. Les différentes espèces de charbon végétal même, présentent des phénomènes analogues.

549. Il paraît que les plantes qui ont donné naissance à la houille noire étaient des monocotyledons, tandis que la houille brune semble formée plutôt de dicotyledons. Celle de ces dernières espèces que dans les systèmes oryctognostiques on désigne sous le nom de bois bitumineux

ou de houille brune terreuse, nous offre souvent des fibres ligneuses si bien conservées, qu'on pourrait encore reconnaître la nature des arbres auxquels elles ont appartenu. Dans les gisemens de ces combustibles, on trouve souvent des feuilles et des fruits de dicotyledons.

La variété qu'on appelle houille limoneuse, ressemble parfaitement à la houille noire: souvent même sa poudre est plus noire que celle de la houille ordinaire. C'est donc à tort qu'on donne à ces combustibles le nom de houille brune. La dénomination de bois fossile serait plus exacte, et remplacerait aussi très-avantageusement le nom de bois bitumineux, d'autant plus que le bitume n'est renfermé dans aucune espèce de combustible et qu'il n'est qu'un produit formé pendant la distillation. On désignerait ensuite par les qualifications de fibreux et de conchoïde, le bois bitumineux ainsi que la houille brune commune. Le bois fossile fibreux forme la véritable transition entre les combustibles minéraux et le bois naturel; tandis que le bois fossile conchoïde se rapproche, par ses propriétés physiques et par sa composition, de celles des houilles noires qui contiennent le moins de carbone et le plus d'oxigène.

550. Il semble extraordinaire qu'ayant fait de si nombreux essais pour utiliser le charbon de tourbe dans les travaux métallurgiques, on n'ait pas songé à employer le charbon du bois fossile. En voici la raison: le bois fossile fibreux contient en général une grande quantité de cendres, et le bois fossile conchoïde se réduit par la carbonisation en petits fragmens. Les corps organiques soumis à la distillation, diminuent de volume, tout en conservant leur forme et une partie de leur cohérence, tandis que les corps inorganiques privés d'une ou de plusieurs de leurs parties constituantes, entrent en fusion, ou bien ils se réduisent en poudre. Le bois fossile ressemble sous ce rapport aux corps organiques; mais il est traversé comme la houille par

de si nombreuses solutions de continuité, que son charbon se trouvant très-divisé, ne peut servir à aucun usage. C'est pour cette raison qu'on ne peut carboniser, ni le bois fossile conchoïde, ni les houilles qui ne forment point par la distillation une espèce de gluten qui, servant de ciment aux morceaux de charbon, les réunit en plus grosses masses.

551. Quant à la densité, le charbon du bois fossile conviendrait mieux que celui de la tourbe, pour la réduction des minérais de fer; car le bois fossile fibreux donne un charbon qui, sous ce rapport, ne diffère guère du charbon de bois dur, et celui qu'on retire du bois fossile conchoïde, se rapproche de plusieurs espèces de cokes, mais nous venons d'en signaler les défauts. Il existe toutefois du bois fossile d'un très-petit contenu de cendres et qui conviendrait parfaitement pour la carbonisation, s'il se présentait en gisemens réguliers et s'il n'était pas toujours accompagné d'un bois fossile chargé d'une grande quantité de cendres.

Pour les feux de flamme et dans les fours à reverbère, le bois fossile est souvent préférable à la tourbe; exceptons le bois fossile qui contient une une si grande quantité de cendres, qu'elle intercepte le courant d'air, ce combustible brûle alors très-lentement et ne produit qu'une faible chaleur.

552. Il sera question plus bas de la composition du bois fossile. Voici quelques données sur la quantité de charbon qu'on peut en retirer et sur son contenu de cendres. La carbonisation a été opérée à un degré de température moyen.

BOIS FOSSILES.	CHARBON obtenu.	CENDRES obtenues.	CHARBON PUR déduction faite des cendres.	OBSERVATIONS.
Fibreux, d'Islande.	57,5	8,8	48,7	
id. *id.*	56,5	27,5	29	
Conchoïde, d'Uttweiler.	68,2	0,9	67,3	Au nord de Siegenbirge.
id. de Rottergrube.	48,3	6,7	41,62	Des rives gauches du Rhin. Le bois fossile conchoïde se rapprochait du bois fossile fibreux, et vice versa. Ce dernier montrait très-peu de cohérence, à cause de la grande quantité de terre dont il était chargé. Le bois fossile conchoïde se présente dans ces mines très-rarement et toujours comme transition au bois fossile fibreux.
id. *id.*	46,4	11,9	34,5	
Fibreux *id.*	41,6	12,5	29,1	
id. *id.*	49,7	11,4	38,3	
id. d'Ourwelt.	44,3	7,2	37,2	
id. *id.*	43,9	4,6	39,3	
id. *id.*	51,3	27,0	24,25	
id. de Friesdorf.	28,2	1,7	26,51	
id. *id.*	48,2	14,9	33,3	
id. *id.*	46,8	7,6	39,2	
id. de Pützchen.	46,4	8,2	38,2	Provenant des mines de la rive droite du Rhin, vis-à-vis de Bonn. Ces mines n'offrent que du bois fossile fibreux. Celui qui est papyracé ou schisteux, se fend facilement et jouit d'un peu de cohérence.
id. *id.*	44,7	4,4	40,3	
id. *id.*	51	17,4	33,6	
Schisteux de Stösschen.	29,1	14,4	14,7	
id. *id.*	40,6	28,2	12,4	
Fibreux d'Orsberg.	62,8	43,2	19,6	
id. *id.*	68,4	58	10,2	

Les produits dégagés par la distillation sont : de l'eau, une espèce d'huile qui caractérise le bois fossile par son odeur fétide, un peu d'acide, du gaz, et une assez grande quantité de substance alcoolique. Au reste la nature et la quantité de ces corps dépendent du degré de température employé.

La pesanteur spécifique du bois fossile peut varier entre 1,20 et 1,29, sans que ces variations soient toujours déterminées par celles du contenu de cendres. Le bois fossile

conchoïde surpasse en pesanteur spécifique et en quantité de charbon qu'il peut fournir, plusieurs espèces de houilles.

Le poids des cendres données par certaines espèces de houilles brunes terreuses, est quelquefois plus grand que le poids du charbon pur. Ces cendres, comme celles de la tourbe, ne contiennent point d'alkali. Contenues en petite dose dans ce combustible, elles se composent principalement de carbonate de chaux; mais à mesure que la quantité de cendres augmente, on voit augmenter aussi les proportions de silice et d'alumine. Ces terres deviennent alors très-prédominantes. On y trouve aussi de l'oxide de fer, du gypse et de la magnésie.

Le bois fossile conchoïde est ordinairement traversé de fissures, mais on en rencontre aussi qui forme de gros morceaux compacts, qu'on peut forer, scier, etc., etc. Le jayet en présente un exemple. En cet état, il constituerait un excellent combustible, si on le trouvait en abondance.

553. La quantité de charbon retirée de la houille est encore plus variable que celle qu'on obtient du bois fossile. Elle peut s'élever de 48 à 90 p. %. Ces charbons s'appellent ordinairement cokes. Il en existe qui conservent la forme des morceaux de houille employée, et prennent en même temps un plus petit volume; d'autres conservent aussi la forme de la houille, sans changer de volume, d'autres enfin se boursouflent et présentent alors une masse plus ou moins poreuse. Pour reconnaître cette propriété de la houille, qui détermine souvent son emploi pour la carbonisation, on la réduit en poudre et, à défaut d'autre appareil, on la chauffe dans un creuset couvert. La houille de la première espèce donnera du coke en poudre incohérente: le coke de la seconde espèce n'offrira pas plus de volume que la houille employée; le contraire a lieu le plus souvent, mais ce coke formera toujours une masse frittée, douée quelquefois d'une assez grande fermeté: enfin la poudre de

la troisième espèce de houille entre en fusion et constitue une matière parfaitement homogène, qui se moule sur la forme du vase et peut quelquefois en dépasser les bords par son augmentation de volume.

Il n'existe point de limites parfaitement tracées entre ces trois espèces de houille. Tantôt la poudre de la première espèce montre une légère cohérence, tantôt aussi la matière frittée de la deuxième espèce paraît fondue en partie. Ces propriétés de la houille servent à faire juger de sa composition. Nous appellerons par la suite la première espèce, *houille sèche*, la deuxième *houille maigre* et la troisième *houille grasse:* les deux dernières seront aussi désignées sous le nom de houille collante.

554. La quantité de coke qu'on obtient de la houille diminue, lorsqu'on emploie une forte chaleur au commencement de la carbonisation: la perte qui en résulte est en général d'autant plus grande que les houilles sont plus grasses et moins riches en carbone; cependant elle ne peut guères s'élever au-dessus de 6 p. %.

D'un autre côté nous remarquerons qu'un degré de chaleur faible au commencement de la carbonisation et augmenté successivement, rend la houille moins collante. Il se pourrait par exemple que traitées de cette façon des houilles maigres se comportassent comme la houille sèche, et des houilles grasses comme la houille maigre, qui ne donne que du coke fritté. En tout cas on peut diminuer, par une chaleur douce augmentée par degrés, le boursoufflement des houilles grasses et obtenir alors un coke plus compacte.

555. On croyait que la houille grasse différait des autres espèces de houille, en ce qu'elle contenait moins de charbon et plus de bitume, pensant, quoiqu'à tort, que ce produit obtenu par la distillation, était une des parties composantes du combustible. Mais des recherches dirigées sur cet objet, ont montré que le contenu de charbon

des houilles grasses est ordinairement plus grand que celui des houilles non grasses. Il existe beaucoup de houilles sèches et de houilles maigres qui ne produisent que 50 p. % de coke, tandis qu'on trouvera peu de houilles grasses qui en fournissent une si petite quantité. Un grand nombre d'entre elles donnent jusqu'à 80 p. % de coke boursoufflé.

Les produits obtenus par la distillation de la houille, sont outre les gaz, de l'eau, de l'huile en quantité prédominante, quelquefois un peu d'acide et toujours une petite dose d'ammoniaque. L'huile est d'autant plus épaisse, que la houille contient plus de carbone. Le rapport du liquide aqueux au liquide oléagineux est le plus grand possible, lorsque la houille est sèche; et la masse de tous les produits liquides et gazeux est toujours en raison inverse avec le contenu de carbone. Les houilles donnent en général moins de gaz que le bois fossile, bien qu'elles fournissent plus de composés d'hydrogène eu égard à la masse des autres produits. L'emploi d'une chaleur douce, élevée graduellement jusqu'au rouge, fait produire plus d'eau, plus de gaz et moins d'huile qu'un coup de feu rapide; mais ce gaz, plus chargé d'acide carbonique et d'hydrogène, contient moins d'oxide de carbone et de substance oléagineuse que n'en renferme le gaz obtenu par une chaleur plus rapide. Si dans ce dernier cas l'appareil est tel que l'huile, en se formant, reste exposée à la chaleur rouge, elle se décompose et augmente la quantité de gaz. Le rapport du gaz oléagineux à la masse des produits dégagés, est d'autant plus grand que la houille est plus grasse. La présence des pyrites produit de l'hydrogène sulfuré.

556. Il n'y a que la houille sèche et la houille maigre, quand elles sont pauvres en carbone, qui se décomposent au-dessous de la chaleur lumineuse, et cette décomposition est même très-imparfaite; la substance oléagineuse ne se forme qu'au premier degré de la chaleur rouge brune. Lors-

que ces deux espèces de houilles sont riches en carbone, elles ne se décomposent qu'à une forte chaleur rouge.

Il n'existe point de houille, qui soumise à la distillation, ne donne de l'eau. La houille la plus sèche et la plus riche laissant 95 p. % de coke, produit encore 1 p. % d'eau et à peu près 0,1 à 0,2 p. % d'huile. L'anthracite fibreux même, chauffé fortement, donne 0,15 p. % d'eau et quelques traces d'huile. Tous les anthracites des formations houillères laissent encore dégager un peu d'eau qui se montre sur les parois du ballon comme une rosée légère. Le graphite seul, joint à l'anthracite des formations primitives, ne produit point d'eau par la distillation.

557. La houille contient toujours, lors même qu'elle a été long-temps séchée à l'air, une certaine quantité d'eau, qu'on peut chasser par la chaleur de l'ébullition, et que ce combustible peut ensuite absorber de nouveau. Il paraît que les houilles sèches possèdent cette faculté au plus haut degré: il en existe qui peuvent s'imbiber de 12 à 13 p. % d'eau; ce sont alors le plus souvent des houilles pauvres en carbone. Cependant on trouve aussi des houilles sèches et pauvres qui ne peuvent retenir que 1 à 6 p. % de ce liquide, à l'état de mélange. Au reste on ne connaît pas la liaison qui existe entre cette faculté d'absorbtion et les autres propriétés de la houille.

558. La pesanteur spécifique de la houille varie, pour un contenu de cendres déterminé, entre 1,19 et 1,32. On peut admettre, comme règle générale, que la houille sèche est plus pesante que la maigre, et celle-ci plus que la grasse. Cependant leur pesanteur spécifique augmente en général avec leur contenu de carbone; de sorte qu'une houille grasse, riche en carbone, peut posséder presque la même pesanteur spécifique qu'une houille sèche d'un contenu de carbone moyen. La quantité de cendres renfermée dans ce combustible peut accroître considérablement sa pesanteur

spécifique; la raison en est évidente. Les terres mêlées à la houille sont reparties d'une manière tellement inégale, qu'on peut rencontrer sous ce rapport les plus grandes différences dans un morceau qui aurait seulement quelques pouces cubes de volume.

La pesanteur spécifique multipliée par 1000, donne le poids du mètre cube. En déterminant ce poids par des pesées immédiates, on obtient ordinairement $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{4}$ en moins, à cause des vides laissés entre les morceaux.

559. On trouve de la houille qui contient moins de cendres que le bois, et il en existe aussi qui en renferme au-delà de 20 p. %. Ces cendres ne laissent apercevoir ni alkali, ni acide hydrochlorique, ni acide phosphorique, ni iode. Elles se composent pricipalement d'alumine et de silice, d'un peu d'oxide de fer, de manganèse, de carbonate de chaux et de magnésie: il est évident que ces terres mélangées à la houille, peuvent avoir une composition très-variée. Le contenu de cendres n'est en rapport ni avec les propriétés caractéristiques des houilles grasses ou sèches, ni avec le contenu de carbone, ni avec la puissance des bancs ou des couches, ni avec leur position, ni avec la profondeur d'une même couche au-dessous de la surface de la terre, ni enfin avec l'étendue du gisement dans le sens de la direction.

Pour déterminer en petit le contenu de cendres de la houille, on opère ordinairement sur un morceau très-pur; mais on ne peut obtenir de cette manière le contenu moyen de cendres, qui s'accroît par les terres mêlées à la masse. Une pareille donnée ne peut s'acquérir que par l'incinération d'une grande quantité de ce combustible. Il est rare que les parois des fissures soient pures; elles sont presque toujours tapissées de pyrites, de spath calcaire, de dolomite, de blende, de spath pesant, de gypse et d'argile. Le soufre ne se dégage pas entièrement pas la carbonisation.

560. Les diverses espèces de bois donnent à peu près les mêmes quantités de charbon, se présentant toujours dans le même état (489, 550). Il n'en est pas de même de la houille. Nous allons en donner quelques exemples : la pesanteur spécifique est relative à la houille pure ou non mélangée avec des terres.

HOUILLES GRASSES.

LIEUX D'OU ELLES PROVIENNENT.	PESANTEUR spécifique.	COKE avec les cendres.	CENDRES.	COKE PUR.
Silésie supérieure, Frédéric, à Zawada.	1,2638	60	2,1	57,9
id. mine Sac, à Czernitz.	1,3623	58,5	5,8	52,7
id. couche, à Hultschin.	1,3155	86,9	2,1	84,8
Silésie inférieure, Grâce-de-Dieu.	1,2851	66,8	4,65	62,15
id. mine Gustave.	1,2709	69,9	1,9	68
id. *id.* Glückhilf.	1,2762	68	0,8	67,2
id. *id.* Abendröthe.	1,2975	75	4,9	70,1
Sarrebruck, Sulzbach et Duttweiler.	1,2581	64	0,15	63,85
id. Friedrichsthal.	1,2539	64,8	0,65	64,15
id. Wellesweiler.	1,2621	65,6	1	64,6
Arrondissement de Saale, Wettin.	1,3702	78	10,8	67,2
id. *id.*	1,4662	81,1	24,4	56,7
id. *id.*	1,3628	77,5	5,1	72,4
Eschweiler, Fornagelflöz.	1,2997	80	1,3	78,7
id. Schlemmerichflöz.	1,2946	84,5	3,25	81,25
id. Flöz Gyr.	1,3005	81,5	1,17	80,33
Westphalie, Hütterbank.	1,2905	86,3	1	85,3
id. Sälzer et Neuack.	1,2882	82,3	0,7	81,6
id. Stock et Scheerenberg.	1,2818	80,1	0,65	79,45
Angleterre, Kilkenni.	1,1652	51	0,5	50,5
id. *id.*	1,284	61,5	5,5	56
id. Newcastel.	1,2563	68,5	0,85	67,65
Saxe, Pottschapl.	1,4541	68,7	27,7	41

HOUILLES MAIGRES.

LIEUX D'OU ELLES PROVIENNENT.	PESANTEUR spécifique.	COKE avec les cendres.	CENDRES.	COKE PUR.
Silésie supérieure, mine Reine-Louise.	1,2807	67	1,2	65
id. galerie du Roi.	1,2846	65,3	0,6	64,7
id. *id.* de Henriette.	1,2862	63,8	1,65	62,15
id. *id.* de Caroline.	1,2804	61,5	4,8	56,7
id. *id.* de Thérèse.	1,3323	88,4	2,66	85,74
Silésie inférieure, mine David.	1,2954	68	2	66
id. Louis Auguste.	1,2806	66,5	1,3	65,2
id. Frischauf.	1,5128	78,8	23,4	55,4
id. *id.*	1,421	73	8	65
Sarrebruck, prince Guillaume.	1,2985	62,1	1,3	60,8
id. Merchweiler	1,2817	61,88	0,9	60,98
id. Gerhard.	1,2714	58,5	1,6	56,9
De la Saale, Lœbejün.	1,3739	89,1	9,1	80
id. *id.*	1,4634	90	20	70
Westphalie, Tourterelle.	1,3321	86,8	2,4	84,4
id. Louise.	1,2915	72,8	1,4	71,4
id. Sperling.	1,3303	85,5	3,5	82
id. Hambourg.	1,3232	89,1	0,9	88,8
Saxe, Planitz (dite piciforme).	1,1866	64,5	1,1	63,4
Pays-Bas, Mons.	1,3078	88	2,5	85,5

HOUILLES SÈCHES.

LIEUX D'OU ELLES PROVIENNENT,	PESANTEUR spécifique.	COKE avec les cendres.	CENDRES.	COKE PUR.
Silésie supérieure, mine Caroline.	1,3097	65,6	2,8	62,8
id. Charlotte.	1,3172	67,5	2,42	65,08
id. Béate.	1,3832	66,8	11,9	54,9
id. Théodose.	1,2943	53,5	1,9	51,6
id. Joséphine.	1,3102	56,9	3,4	53,5
Silésie inférieure, Laure.	1,3037	70	1,85	68,15
id. *id.*	1,2975	73,5	2,4	71,1
id. Fuchsgrube.	1,3782	59,1	2,1	57
Sarrebruck, Geislautren.	1,3279	62,1	3,9	58,2
Bardenberg, Neulangenberg.	1,3213	93,6	0,8	92,8
id. Hoheneich.	1,3296	94,8	1,2	93,6
id. Fürth.	1,339	95	0,7	94,3
id. Abgunst.	1,3548	96,4	1,75	94,65
De la Saale, Löbejün.	1,6295	92	7	85
id. *id.*	1,6370	90	9,9	80,1
Westphalie, Vieux-Lièvre.	1,3346	92,5	1,7	90,8
id. Hundsnocken.	1,3376	92,8	0,6	92,2
id. Schwarzer Junge.	1,3125	91,9	1,1	90,8
Angleterre, Kilkenni.	1,4231	69,8	13,3	56,5
Brésil, *id.*	1,2891	59,5	1,6	57,9
id. *id.*	1,4832	66,5	28,4	38,1

Les grandes différences qu'on remarque dans les cokes obtenus soit sous le rapport de la quantité, soit sous le rapport des propriétés physiques, prouvent déjà les nombreuses variations que doit présenter la houille dans sa composition. Il n'en existe peut-être pas deux espèces qui soient parfaitement semblables; mais quand on connaîtra la composition de quelques-unes, ainsi que la nature et

la composition des cokes qu'elles produisent, on pourra classer approximativement toutes les autres, en faisant un essai de carbonisation sur une petite quantité (553).

561. Presque toutes les houilles contiennent un peu d'azote; mais, comme il y est toujours en petite quantité et pour ainsi dire accidentellement, on l'a négligé dans les analyses dont nous allons communiquer les résultats: eu égard à ce gaz, la quantité d'oxigène est donc estimée un peu trop fort. Nous avons ajouté à ce tableau, pour objet de comparaison, la composition du bois. Les différentes espèces de houilles ont été séchées préalablement à la chaleur de l'ébullition.

DÉSIGNATION des COMBUSTIBLES.	ESPÈCE de charbon obtenu.	QUANTITÉ de charbon obtenu par distillation.	COMPOSITION. Carbone.	Hydrogène.	Oxigène.	Cendres.
Bois de chêne.	pulvérulent.	12 à 25	51,45	5,80	42,73	0,752
Bois fossile fibreux	*id.*	62,13	54,97	4,313	26,464	14,25
Bois fossile conchoïde (Jayet).	*id.*	73,2	77,10	2,546	19,354	1
Houille de Léopoldine.	*id.*	61,5	73,88	2,765	2,475	2,88
Houille de Koenigsgrube.	fritté.	69,3	78,39	3,217	17,773	0,63
Houille de Wellesweiler.	boursouflé.	67,8	81,32	3,217	14,470	1
Houille de Neuack	*id.*	80,1	88,68	3,217	8,113	0,1
Houille de Hundsnocken.	pulvérulent.	93,6	96,02	0,44	2,94	0,6
Houille dite de Kilkenni.	boursouflé.	52,6	74,47	5,42	19,61	0,5
Houille de Newcastle.	*id.*	70	84,26	3,217	11,667	0,86
Houille d'Eschweiler.	*id.*	82,4	89,16	3,217	6,452	1,18

Le contenu de carbone de ces diverses espèces de houilles varie entre 73,88 et 96 p. %. On voit à l'aspect de ce tableau, que la nature du coke ne dépend point du poids des gaz renfermés dans le combustible, et qu'elle est modifiée seulement par le rapport qui existe entre la dose d'oxigène et la dose d'hydrogène. Ainsi la houille est d'autant plus grasse, et fournit des cokes d'autant plus boursoufflés que l'hydrogène s'y trouve en plus grande quantité par rapport à l'oxigène.

562. Les houilles pauvres en carbone présentent toujours une couleur brunâtre, lorsqu'en même temps l'hydrogène est en quantité considérable par rapport à l'oxigène. Un noir intense, joint à un état vif et à une grande dureté, annonce toujours une grande quantité de carbone et un excès d'oxigène : toutefois l'éclat résineux n'indique pas autant de carbone que ne le ferait l'éclat vitreux. Le noir, un éclat vif, peu de résistance et de dureté, caractérisent les houilles riches en carbone et dans lesquelles l'hydrogène s'est accru. Le noir, un aspect terne, beaucoup de résistance et de dureté, annoncent des houilles moins riches en carbone et dans lesquelles l'oxigène domine fortement sur l'hydrogène : si la couleur passe au noir-brun, la proportion d'hydrogène augmente ; mais si la houille devient en même temps plus terne et que la dureté diminue, sans que la résistance change, le contenu de carbone diminue davantage, et l'oxigène reste prédominant sur l'hydrogène. En général, la dureté de la houille diminue à mesure que le rapport de l'hydrogène à l'oxigène augmente, et la fermeté ou résistance s'accroît avec le rapport des deux gaz au carbone.

563. L'anthracite fibreux, autrement dit le *charbon de bois minéral*, habite toujours avec la houille. Très-difficile à brûler, ce charbon est regardé ordinairement comme une blende charbonneuse. On le trouve le plus sou-

vent en couches de 3 lignes à 1 pouce d'épaisseur et parfaitement parallèles à la stratification des bancs. Souvent aussi il a contribué à la formation de la houille, dont une grande partie est composée des mêmes fibres végétales qui ont donné naissance à cette espèce d'anthracite. Dans ce cas les deux substances ne forment qu'une masse, et il ne reste de l'anthracite que les empreintes des fibres dont il était composé.

L'anthracite fibreux n'est pas aussi difficile à détruire qu'on le croit ordinairement. Sous la moufle du fourneau d'essai, il brûle avec une flamme très-vive, preuve qu'il est loin de constituer un charbon pur. Entassé en grande quantité dans les hauts fourneaux, il résiste à l'action des plus fortes machines soufflantes et se présente, retiré du creuset, sous forme d'une poussière fine, qui ne paraît avoir éprouvé aucun changement; mais la poussière de charbon de bois se comporterait d'une manière analogue. Ajoutons que le vent pénètre encore plus difficilement dans la poussière de charbon minéral que dans la poussière de charbon de bois, la première étant douée d'une plus grande pesanteur spécifique. Au reste, cette difficulté de brûler se manifeste dans tous les corps qui ne se laissent point traverser par l'air: on en voit un exemple dans des masses de papier disposées par feuilles et légèrement comprimées.

Le charbon de bois minéral, variable dans sa composition, ne diffère des masses de houille qui le renferment, que par un plus grand contenu de carbone. J'ai retiré par la distillation de ce corps 80 à 95 p. % de coke. L'anthracite fibreux doit être classé parmi les houilles sèches; il montre d'une manière frappante, que parmi les fibres ligneuses qui ont donné naissance aux houilles, il s'en trouve qui sont plus avancées que d'autres dans leur décomposition.

564. Le rapport du carbone à l'hydrogène et à l'oxigène varie, dans les anthracites fibreux, de la même manière

que dans les houilles qui renferment ces anthracites. Cette variation, et l'analogie dans la manière d'être des deux corps, sont d'autant plus marquées que les masses de houilles sont moins éloignées de leur état primitif, ou, ce qui revient au même, qu'elles contiennent plus d'oxigène et d'hydrogène. C'est aussi pour cette raison que l'homogénéité de la composition ne se rencontre que dans les houilles riches en carbone. Les autres se composent toujours d'un mélange de parties plus riches et moins riches. Les premières sont noires, présentent un éclat résineux ordinairement très-prononcé, joint à une cassure conchoïde; ils paraissent aigres, sans avoir de fermeté. Les deuxièmes ont une couleur brunâtre, manquent d'éclat, offrent une cassure plane ou légèrement conchoïde, paraissent fermes et sont pourtant aigres. Lorsque la houille contient beaucoup de carbone, les deux espèces sont mélangées entre elles; dans le cas contraire, elles sont en couches distinctes et parallèles. Le rapport de l'oxigène à l'hydrogène est le même dans les deux couches; lorsque l'une est une houille sèche ou maigre ou grasse, l'autre l'est aussi.

565. Quand les couches alternatives sont très-minces, ce qui arrive fréquemment, la houille ne peut être convertie en coke, à moins qu'elle ne soit collante. On trouve aussi de la houille dont les couches alternatives ont un ou deux pouces d'épaisseur; ces couches peuvent être divisées par des fissures tantôt imperceptibles, tantôt très-larges, vides ou remplies de substances étrangères. Les fissures, formant avec la surface de la couche des angles qui se rapprochent de l'angle droit, partagent la masse dans le sens de la direction et dans celui de l'inclinaison, en morceaux rhomboïdaux; et elles ne sont jamais parallèles à la stratification. C'est ce qui prouve évidemment que les fissures sont des fentes produites par la dessication de la matière. Les solutions de continuité dans les houilles riches en carbone

ne sont guères dues qu'à ces fentes; on peut à peine reconnaître entre plusieurs morceaux une différence dans le contenu de carbone: la décomposition de la masse est pour ainsi dire achevée.

566. Les couches de charbon de bois minéral divisent au contraire la masse dans le sens de la stratification; mais il est à remarquer que ces couches ne sont jamais traversées par les fissures dont il vient d'être parlé (665).

567. La classification en houille piciforme, schisteuse, lamelleuse, scapiforme, grossière et en houille de Kilkenni, repose uniquement sur le mélange, ou sur l'absence du mélange de houilles plus ou moins riches. Elle prend la qualification de *schisteuse*, lorsqu'elle se compose des couches alternatives dont nous avons parlé, et qu'elle est traversée par de nombreuses fissures et des couches minces d'anthracite fibreux. Lorsque ces alternations sont très-fréquentes et que les couches sont par conséquent très-minces, on l'appelle *houille lamelleuse*. Quand, au contraire, on n'aperçoit point de couches au premier aspect, ou quand ces dernières sont très-épaisses, le combustible est riche en carbone, possède un éclat résineux, une cassure conchoïde et s'appelle *houille piciforme*. Il prend le nom de *houille de Kilkenni*, lorsque moins riche en carbone, il possède peu d'éclat. Ces deux espèces mêlées intimement ensemble et non séparées par couches alternatives, figurent dans les systèmes oryctognostiques sous le nom de *houille grossière*.

Cette classification établie seulement sur des caractères accidentels, n'a point de rapport avec la nature de la houille, au point qu'une houille schisteuse peut différer d'une autre de la même espèce, plus qu'elle ne différerait d'une houille de Kilkenni. Pour bien déterminer la qualité de ce combustible, il est nécessaire qu'on fasse connaître le degré d'homogénéité de la masse, sa couleur, son éclat,

sa résistance et sa dureté : la forme du coke et son poids, pourront au besoin compléter ces renseignemens. Eu égard à la grande variété de la houille, il doit paraître évident que toutes les espèces ne sont pas propres aux mêmes usages.

568. La houille développe en général d'autant plus de chaleur qu'elle est plus riche en carbone : sa combustibilité au contraire suit un rapport inverse. Les houilles riches et sèches, donnent peu de flamme et rendent moins de service dans les fours à reverbère, que ne le font les houilles demi-grasses douées d'une égale richesse : on fait bien de les mêler. Lorsqu'elles sont très-grasses, elles ne peuvent être brûlées dans les fours à reverbère, parce qu'elles se boursoufflent trop fortement et qu'elles interceptent le courant d'air; de plus brûlant trop vite, elle ne produisent pas un degré de chaleur élevé et soutenu. Celles qui conviennent le mieux pour cet objet, sont les houilles demi-grasses, ou pour mieux dire celles qui forment la transition entre les houilles maigres et les grasses. Ces dernières, employées sans mélange, sont très-propres aux usages domestiques et pour tous les genres de chauffage où il n'est pas nécessaire que la température soit très-élevée. On les emploie très-volontiers aussi pour chauffer le fer et l'acier, parce qu'elles forment une voûte qui concentre la chaleur et garantit le métal du contact immédiat de l'air.

Les houilles demi-grasses fussent-elles pauvres en carbone, donnent encore une chaleur rapide et soutenue; tandis que les houilles pauvres et grasses, ne peuvent être employées avec avantage que pour produire une chaleur modérée.

Les houilles sèches et d'une richesse moyenne, ne produisent pas une chaleur intense, et à plus forte raison, celles qui sont pauvres; on peut les regarder comme les plus mauvaises.

La houille la plus convenable pour la fabrication du

gaz, est celle dont le rapport de l'hydrogène à l'oxigène, et celui des deux gaz au carbone, sont les plus grands. C'est par conséquent la houille la plus grasse et en même temps la plus pauvre en carbone.

569. Ces données vraies en thèse générale sont ensuite modifiées par d'autres circonstances. L'anthracite fibreux, par exemple, peut rendre une houille sèche impropre à toute espèce d'usage, parce qu'en la divisant, la réduisant en fraisil, il empêche la circulation de l'air. Mêlé à la houille grasse ou demi-grasse, il est moins nuisible; parce que les morceaux de ces dernières se collent ensemble, ou parce qu'elles entrent en fusion et qu'elles forment corps.

Un autre obstacle provient des terres mêlées à la masse du combustible. Elles augmentent la quantité de cendres, qui s'opposent aussi à la circulation de l'air et au développement d'une forte chaleur. Si la houille était en même temps sèche, elle se diviserait en petits fragmens incohérens et ne pourrait servir à aucun usage.

570. Sous le rapport de la carbonisation, les trois espèces de houilles doivent être considérées séparément.

Toutes les houilles sèches et certaines houilles maigres, bien qu'elles soient homogènes et par conséquent riches en carbone (564), ne donnent pas de bon coke, si elles présentent un trop grand nombre de fissures, parce que ce coke se réduit en petits fragmens et ne peut alors être employé dans les hauts fourneaux. Quant aux houilles sèches extrêmement riches, on n'a pas besoin de les carboniser; elles contiennent si peu de gaz qu'on peut les regarder comme des cokes naturels. Ces charbons anthraciteux pourront servir à l'état cru dans les hauts fourneaux, pourvu qu'ils ne se divisent pas en petits morceaux; mais on doit les verser toujours sur le minérai, et terminer par conséquent chaque charge par une couche de ce combustible.

Si les houilles sèches et celles qui donnent des cokes frittés, étaient pauvres en carbone et composées, par conséquent, de parties brillantes et de parties mattes, elles ne pourraient être carbonisées que dans le cas où les deux espèces de houilles seraient intimement mêlées : si elles se présentaient en couches alternatives, il en résulterait de nombreuses solutions de continuité, augmentées encore par les fentes verticales qui divisent les couches noires et riches. Ces fentes se remarquent toujours dans les couches noires et brillantes, ou bien elles se manifestent après la carbonisation. La division du coke et son incombustibilité qui en est le résultat, ont fait croire long-temps que les couches noires des houilles maigres, constituaient une espèce d'anthracite, puisque les petits fragmens de coke se retirent des creusets des hauts fourneaux sans qu'ils aient éprouvé aucune altération.

Les houilles pauvres et sèches dont les couches alternatives ont 4 à 5 pouces d'épaisseur, et qui ne sont pas divisées par des fentes ni par des couches de charbon minéral, peuvent être carbonisées; mais elles produisent un coke dur, très-dense, et ne pouvant brûler que dans un air très-comprimé.

Quant au contenu de cendres, on peut admettre que le coke qui en laisse au-delà de 5 p. %, peut à peine servir au traitement des minérais de fer *.

Celles des houilles maigres qui forment la transition aux

* Nous avons lieu de croire que cette limite est beaucoup trop resserrée. Les cokes, surtout lorsqu'ils sont boursoufflés, peuvent servir très-bien dans les hauts fourneaux, lors même qu'ils laissent 7 à 8 p. % de cendres : le coke brûlé au haut fourneau du Janon en fournit la preuve. Cette limite doit d'ailleurs dépendre des minérais employés. En effet il s'agit de liquéfier les cendres, et ce n'est que l'impossibilité de les mettre en fusion, sans une trop grande perte d'oxidule de fer, qui peut déterminer le rejet du coke. Le T.

houilles grasses, peuvent fournir encore du coke en assez gros morceaux, lors même qu'elles offrent des solutions de continuité.

571. Les houilles grasses ne présentent pas les inconvéniens que nous venons de signaler. Soumises à la carbonisation, elles entrent pour ainsi dire en fusion et donnent toujours du coke en gros morceaux, à moins qu'elles ne contiennent une très-grande quantité d'anthracite fibreux et de substances étrangères. Mais de moindres quantités d'anthracite fibreux et de terres, renfermées dans ce coke boursoufflé, exercent souvent une influence très-nuisible sur le travail des hauts fourneaux, et doivent nécessairement inspirer de la méfiance sur l'emploi de ce combustible, avant que sa qualité n'ait été constatée par des essais; tandis que le coke provenant de la houille maigre ou de la houille sèche, peut s'employer en toute sûreté, lorsqu'il se présente en morceaux volumineux.

572. On croirait que le coke demi-fondu, provenant des houilles grasses, devrait, eu égard au poli de la surface, être moins inflammable que le coke à surface rude, obtenu des houilles sèches ou maigres. C'est ce qui a lieu effectivement sous la mouffle des fourneaux d'essai. Il en est tout autrement dans les hauts fourneaux où le combustible est entassé en grande quantité. Les cokes boursoufflés y laissent, par leur forme, de si nombreux interstices et des vides si considérables, que la circulation de l'air n'est jamais entravée. Les cokes frittés au contraire se compriment déjà plus fortement. Mais les cokes des houilles sèches réduits en petits moreaux, soit par la carbonisation, soit dans les hauts fourneaux, s'y trouvent serrés au point que tous les vides sont remplis, que l'air décomposé ne trouve plus de passage pour sortir, et que la combustion doit nécessairement se ralentir ou s'arrêter.

573. On doit penser d'après ce qui précède, que le coke

boursoufflé est en tous cas le meilleur; il en est ainsi pour le coke donné par une houille qui n'est pas trop grasse : les cokes très-boursoufflés, s'écrasent par leur propre poids dans des fourneaux qui ont une grande élévation. Ces cokes ne s'emploient avec avantage que dans les cubilots ou dans les fourneaux de petites dimensions *.

Celles des houilles grasses qui forment la transition aux houilles maigres, méritent donc la préférence pour la carbonisation et le traitement des minérais de fer. La houille maigre ne doit pas offrir beaucoup de fissures, et la houille sèche ne pourrait servir, si elle ne se présentait en grandes masses non interrompues par des solutions de continuité. Toutefois les cokes en gros morceaux, provenant de houilles maigres ou sèches, présentent par leur volume même la preuve de leur pureté; avantage que n'ont pas les cokes boursoufflés.

574. L'exploitation de la houille donne lieu à une grande quantité de petits morceaux ou de poussière. Il est inutile de rappeller que ce menu combustible ne peut se carboniser qu'autant que la houille est grasse **. Dans ce cas, on en sépare le plus possible les matières étrangères qui le souillent, et qui proviennent du toit ou du lit de la couche, des terres qui remplissent les fissures ou *failles*, enfin de l'anthracite fibreux qui traverse la masse. Cette menue houille doit donc être extraite de la mine avec beaucoup de soin. Si elle était pure, ce qui du reste est rare, elle

* Quand la houille est trop grasse, eu égard aux dimensions des hauts fourneaux, on peut, en modifiant les procédés de carbonisation, rendre le coke moins boursoufflé, plus dense et plus résistant : ce ne serait donc pas une raison pour rejeter ces sortes de houilles qui, en général, sont préférables aux houilles maigres. Le T.

** Ce sont toujours les houilles grasses qui donnent le plus de menu combustible, parce qu'elles ont moins de fermeté que les houilles maigres ou sèches. Le T.

donnerait du coke qui serait presqu'aussi bon que celui qu'on obtiendrait avec la houille en gros morceaux, bien qu'il soit plus léger que ce dernier.

575. On carbonise les houilles ou dans des fourneaux ou en meules; en suivant le premier procédé, on a pour but de recueillir et d'utiliser les vapeurs qui se dégagent.

La carbonisation de la houille n'exige pas autant de précautions que celle du bois; parce que la température doit être plus élevée; que le coke conserve le même volume; qu'il en augmente même, quand on opère sur de la houille grasse; qu'on n'a pas à craindre, comme pour le bois, les graves inconvéniens qui résultent du retrait, et que le coke étant moins inflammable que le charbon de bois, ne subit pas un déchet aussi considérable par le contact de l'air. La houille maigre et la houille sèche ne peuvent même se carboniser qu'à l'aide d'un courant d'air assez fort, ce qui occasionne un déchet considérable, et présente aussi un grand obstacle à la carbonisation de la houille sèche et riche.

Les meules de houille étaient anciennement circulaires comme celles du bois; on leur donnait de 3 à 5 mètres de diamètre à la base, de 15 à 21 centimètres d'élévation à la circonférence, et de 46 à 66 au centre; on les couvrait d'abord de paille et de feuilles, et ensuite de terre; on les allumait par le haut et l'on gouvernait le feu, en pratiquant des ouvreaux dans la couverture. Bientôt on s'aperçut que ce procédé était susceptible d'une grande simplification; qu'il suffisait de placer sur la meule une couche de menue houille, et de couvrir les endroits qui ne donnaient plus de flamme, avec de la poussière de coke (du fraisil) pour étouffer le feu. Alors, au lieu d'employer la forme circulaire, on disposa la houille en tas alongé, présentant un demi-cylindre coupé par son axe, afin d'en carboniser à la fois une plus grande quantité.

Il est hors de doute que cette méthode occasionne un déchet plus fort: on devrait donc revenir à l'ancien usage pour la houille grasse, si toutefois, vu la grande consommation, on ne pouvait la carboniser dans des fourneaux, ce qui serait la manière la plus avantageuse.

576. Le mode de carbonisation en tas alongés est extrêmement simple. On choisit un emplacement non sablonneux et assez élevé pour que l'eau ne puisse y séjourner. Si la terre est trop légère, il faut la couvrir d'une couche d'argile et de menuaille de coke, de 16 cent. d'épaisseur, la damer et l'aplanir. Par suite du travail, le terrain s'encombrant nécessairement, on est au contraire obligé de le déblayer.

Après avoir enlevé, avec des rateaux de fer, le fraisil de la cuite précédente, composé de coke en poussière, ou de petits fragmens d'anthracite, et après avoir égalisé la faulde, le charbonnier enfonce dans le sol, le long d'un cordeau tendu dans le sens de l'axe, des piquets de 65 centim. de hauteur, espacés de 65 centim., ou à une plus grande distance, si la houille est grasse. Ces piquets désignent les points où le tas doit être allumé.

On dispose ensuite le long du cordeau, les plus gros morceaux de houille, en les inclinant l'un vers l'autre, de manière à former une galerie ou un conduit d'air, qui règne dans toute la longueur de la meule. La largeur de ce canal est réglée par le degré d'inflammabilité du combustible; elle est d'autant plus considérable que la houille est plus maigre et plus pesante. On appuie contre ces premières rangées, en laissant le moins de jour possible, les rangées suivantes dont les morceaux vont toujours en décroissant de hauteur.

La largeur de la meule est ordinairement de 3 à 4^m; les plus gros morceaux de houille ont tout au plus 30 décimètres cubes de volume; les fragmens de 0,05 décimètres

cubes, ne peuvent servir que pour le remplissage et la couverture. La longueur de la meule ne dépend que de l'emplacement et de la quantité de coke que l'on veut obtenir d'une cuite: on lui donne de 30 à 40 mètres. L'arrangement des gros morceaux est, dans cette opération, la chose essentielle: on les place de champ, de manière que leur lit de gisement soit perpendiculaire à l'axe, afin que la houille soit mieux exposée à l'action de l'air atmosphérique.

La hauteur de la meule est de 40 à 60 centimètres au milieu, et de 12 à 16 centimètres vers les côtés du demi-cylindre. La seconde couche de houille n'est jamais régulière; on y place de champ ou sur leur plat, des fragmens dont la grosseur allant toujours en diminuant vers les côtés, servent à la fois à remplir les vides et à produire la forme arrondie. On répand ensuite sur toute la masse, une couche de ménuaille destinée à modérer l'influence de l'air ou à servir de couverture.

La houille grasse comporte une plus grande hauteur de meules, mais elle demande aussi que la couverture en houille menue, soit plus épaisse et plus soignée. La houille pesante et difficilement inflammable, doit être carbonisée en meules basses et pourvues d'une faible couverture, qui ne puisse pas trop intercepter le passage de l'air atmosphérique.

577. Après avoir achevé la construction de la meule, le charbonnier enlève les piquets et projette dans les vides qui en résultent de la houille enflammée, qui, au bout de 4 à 6 heures, détermine la combustion de toute la masse. Le soin de cet ouvrier consiste alors à remarquer les points où la houille, cessant de fumer et de brûler avec flamme, se couvre de cendres blanches; c'est un indice que la carbonisation y est achevée: au fur et à mesure qu'il voit blanchir un endroit, il tâche d'y étouffer le feu, en y jetant du fraisil rangé en tas le long des côtés de la meule.

La cuisson commence, à l'ordinaire, sur les bords et se propage ensuite jusqu'au centre. Il est très-essentiel d'en suivre les progrès et de saisir, pour chaque point, le moment précis où il faut éteindre le feu. Si la combustion dure trop long-temps, on brûle trop de coke; si elle est arrêtée trop tôt, après que la flamme a cessé, mais avant l'entière dissipation de la fumée, le coke est mal cuit, dur, et il résiste aux plus forts courans d'air, sur-tout lorsque la houille est maigre ou sèche.

Le temps que la meule doit rester en combustion dépend de la nature de la houille: très-grasse, elle demande de 36 à 48 heures, depuis le premier moment de la mise en feu; plus maigre, elle est cuite déjà au bout de 12 à 16 heures. Un air sec, froid, légèrement agité, abrège le temps de la carbonisation. Si la fumée qui se dégage est très-abondante, le coke sera léger. Quelquefois il est léger sans qu'il y ait beaucoup de fumée produite. Ce cas arrive avec la houille grasse et riche en carbone. On juge favorablement de sa qualité, si la houille, pendant la cuisson, présente une couleur blanche plutôt que rougeâtre.

Couverte de fraisil, la meule doit rester en cet état pendant 3 à 4 jours, afin que le feu s'éteigne complètement. Le coke est tiré ensuite avec un crochet et un rateau en fer; cette opération commence par un des petits côtés de la base.

578. La méthode que nous venons d'exposer est simple, mais elle peut occasionner un déchet considérable. La perte est moins forte avec la houille maigre d'une richesse moyenne, et avec la houille grasse et riche en carbone. Si d'ailleurs le coke de la première est un peu trop brûlé, il acquiert plus de porosité et devient plus traitable dans le haut fourneau: cet effet a lieu sur-tout lorsque les meules sont peu élevées. La houille grasse d'une moyenne richesse qui, par elle-même, donne déjà du coke léger, subit un

déchet plus fort, à cause de l'imperfection du procédé. Il faudrait la carboniser avec plus de soin, dans des meules convertes de terre, ou dans des fourneaux qui n'offriraient qu'un faible tirage.

En Angleterre, on suit une méthode très-avantageuse pour la carbonisation de la houille grasse : on dispose les morceaux, en suivant les précautions indiquées au paragraphe 576, autour d'une espèce de cheminée, en forme d'entonnoir, construite avec des briques réfractaires. Cette cheminée ou fourneau a $0^m,9$ de diamètre à sa base, $0^m,7$ à sa partie supérieure, et 1^m de hauteur. Le vide intérieur est un tronc de cône, dont le diamètre de la base a $0^m,3$, et celui du petit cercle, $0^m,15$ de longueur.

On ménage dans cette cheminée, à des hauteurs différentes, trois séries d'ouvertures horizontales : chaque série contient six de ces ouvreaux qui ont 5 centimètres sur 8. Les premiers, si l'on part du sol, sont plus grands; on leur donne 10 cent^m sur 15. La dernière série ou la troisième est aux deux tiers de la hauteur totale. L'ouverture supérieure de la cuve peut se fermer avec une plaque en fer. Les morceaux de houille sont placés de champ, les joints tournés vers le fourneau et de manière que les enveloppes circulaires aillent toujours en diminuant de hauteur, à mesure qu'elles s'éloignent du centre. Il y a $1^m,5$ à $1^m,8$ de distance du cercle extérieur au pied du fourneau, ce qui donne 4^m à 4,60 pour le diamètre total.

Sur la première couche de houille rangée sur l'aire, on en met une deuxième et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait gagné la hauteur de l'entonnoir, ayant soin de diminuer l'épaisseur des couches en s'écartant du centre; afin que le tas reçoive une forme conique, dont la pente soit même assez roide : les morceaux de combustible les plus petits sont placés par-dessus.

Après avoir bouché avec la houille menue les jours laissés

entre les fragmens, on donne à toute la meule une couverture en fraisil de 5 à 8 cent^m d'épaisseur : on l'arrose d'eau pour en augmenter la cohérence, afin qu'elle ne puisse être percée ni par la flamme ni par la fumée.

On jette dans la cheminée quelques morceaux de houille incandescens qui, à l'aide des ouvreaux inférieurs, embrâsent toute la meule. Elle reste 36 à 48 heures en feu; la fumée cherchant une sortie, passe dans les ouvreaux et s'échappe par l'entonnoir. L'opération se termine lorsqu'on n'aperçoit plus de fumée ni de flamme bleuâtre. Alors le charbonnier ferme avec une plaque en fer, l'ouverture supérieure du fourneau pour étouffer le feu; mais il ne peut enlever le charbon qu'au bout de trois jours. Il faut souvent arroser et réparer la couverture. Ce mode de carbonisation est très-avantageux pour la houille grasse. Si en volume, elle donnait une moindre quantité de charbon que dans les meules découvertes, on en serait amplement dédommagé, parce que le coke obtenu de cette manière est toujours plus compacte et produit plus d'effet *.

* La houille soumise, en Angleterre, à ce procédé de carbonisation n'est que demi-grasse; elle ne donne point de coke fondu ou boursouflé. Ce procédé est particulièrement usité dans le Straffordshire; c'est aux environs de Venesbury qu'il a pris naissance. Je ne l'ai pas vu pratiqué dans le pays de Galles où cependant on carbonise souvent de la houille très-grasse. Voici au reste de plus amples détails sur cette méthode qui, en général, présente d'excellens résultats. La cheminée se construit en briques demi-réfractaires placées de champ, de manière à laisser autant de vides que de pleins. Il existe par conséquent une ouverture au-dessus et au-dessous de chaque brique. Cette espèce de cône tronqué a 1^m,10 à 1^m,50 de hauteur, 80 à 100 centimètres à la grande base et 65 à 80 centimètres à la petite base. Il est surmonté d'un tuyau en fonte de 25 centimètres de hauteur sur 22 centimètres de diamètre.

On dispose autour du cône les plus grands morceaux de houille et de manière à laisser *le plus de vide qu'il est possible*. Les morceaux moins gros se rangent ensuite autour de ce noyau. Lorsqu'on a achevé cette première couche on empile une deuxième, etc., etc.

579. On ne peut carboniser la houille menue, en suivant la méthode précédente, parce que les petits fragmens ne laisseraient pas assez de passage à l'air qui doit entretenir la combustion. Du reste, ce n'est jamais que la *menuaille* des *houilles grasses* que l'on peut convertir en coke. On la carbonise dans des fourneaux cylindriques, ou mieux encore, sur une aire couverte d'une voûte très-surbaissée et formant un four semblable à ceux des boulangers. Par le premier procédé, on brûle trop de charbon en pure perte, on consomme pour allumer le feu et pour établir des conduits d'air une trop grande quantité de houille en gros morceaux, et quelquefois on a beaucoup de peine à retirer du fourneau le coke réuni en une seule masse : il faut donc préférer l'autre méthode.

Les fourneaux cylindriques serviraient très-bien à la carbonisation des houilles sèches, si l'on se trouvait dans

---

Les petites meules, dont le cône a $1^m,10$ de hauteur, ont 4 mètres de diamètre à la base : les grandes, dont le cône a $1^m,50$ de hauteur, ont 5,50 de diamètre à la base. Les petites meules restent deux jours en feu, les grandes sont en combustion pendant 7 à 8 jours. Lorsque la flamme a disparu entièrement, on ferme la cheminée et l'on pratique dans la converture une ou deux séries de trous. Les petites meules reçoivent 8 trous et les grandes 16. On verse ensuite dans chaque trou trois ou quatre seaux d'eau. L'expérience a fait connaître que cet arrosage, qui paraît très-abondant, est un moyen d'enlever au coke une partie du soufre qu'il retient encore. Après 12 à 24 heures, on tire le coke et l'on éteint avec de l'eau les morceaux qui sont encore incandescens.

Dans certains endroits, on arrose la houille avant d'y mettre le feu : on pense avec raison que le coke obtenu ensuite est moins sujet à se fendiller ou se diviser.

On ne casse jamais les blocs de houille ; quelque gros qu'ils soient, les morceaux de coke ne deviennent que trop petits. Le combustible perd par la carbonisation $\frac{1}{2}$ et quelquefois $\frac{3}{5}$ de son poids. Si la carbonisation n'était pas entièrement terminée, le coke, brûlé dans les hauts fourneaux, rendrait la fonte blanche et, s'il était employé dans les feux d'affineries, il occasionnerait un trop grand déchet. Le T.

le cas de les utiliser pour cokes. Elles n'éprouveraient pas un si fort déchet que dans les meules, et la chaleur intense de ces fourneaux ferait pénétrer la carbonisation jusqu'au centre des fragmens.

Les fours surbaissés ont ordinairement une grandeur telle que la menue houille répandue sur l'aire ou la sole, puisse former un volume de 12 pieds cubes, la couche n'ayant que 6 pouces d'épaisseur. La porte par laquelle on charge le four, sert à faire sortir le coke, et à donner une issue à la flamme et à la fumée. C'est la nature de la houille, la direction du vent, l'état de l'atmosphère, qui modifient la durée de la combustion; on laisse brûler jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus aucun dégagement de flamme ou de fumée, et jusqu'à ce que la houille se couvre de cendres blanches; alors on tire le coke avec un fourgon en fer, on l'éteint avec de l'eau, on le transporte sous des hangars et l'on recommence l'opération. Il n'est pas nécessaire d'allumer ensuite la houille; le fourneau qui reste à peu près six heures en feu, acquiert un degré de chaleur assez élevé pour qu'elle s'enflamme spontanément.

Par la première cuite on obtient ordinairement moins de coke que par les autres; parce que le feu se répand au commencement d'une manière très-inégale à travers la masse du combustible.

On voit que, dans ce travail, il se perd une grande quantité de coke par la combustion. On cherche à diminuer le déchet, en surbaissant la voûte et en diminuant l'influence de l'air atmosphérique.

Comme la flamme, en se dégageant, enlève une portion de charbon à l'état de nature, on joint à la carbonisation de la houille, la fabrication du noir de fumée. Pour cet effet, les vapeurs fuligineuses sont conduites par un assez large canal dans un vaste réduit, tapissé de toile; la majeure partie du charbon se dépose dans ce récipient sous

forme de noir de fumée, qu'on recueille et qu'on fait recuire ensuite dans des vaisseaux clos.

580. La forme des fourneaux de carbonisation dont nous venons de parler, est représentée par les figures 5, 6, 7, pl. I. La sôle se compose de briques posées à plat, soit sur de l'argile maigre, soit sur du sable pur. Lorsque les briques sont trop chères, la voûte peut se construire en grès houiller de bonne qualité: on la couvre extérieurement avec une couche d'argile et de sable, pour préserver les pierres du contact de l'air froid. Une fente ménagée dans la voûte ou dans la face antérieure, au-dessus de la porte, donne une issue aux vapeurs et à la fumée. Cette porte est en fonte ou en forte tôle, on la soulève pour charger ou pour vider le fourneau. L'opération est terminée lorsque la houille cesse de brûler avec flamme.

Il est essentiel que la première cuite se fasse avec de la houille contenant une assez grande quantité de gros morceaux, parce que la poussière se consumerait presqu'en entier avant que le fourneau ne fût assez échauffé.

Les figures 8, 9 et 10, pl. I, présentent un fourneau d'une forme un peu différente. La sôle est ovale; au point culminant de la voûte se trouve une cheminée pour le passage de la flamme et des vapeurs. Les deux ouvertures par lesquelles le combustible s'introduit et se retire, sont aux extrémités du grand diamètre de l'ellipse. L'encadrement de ces ouvertures est en fonte, et le devant est pourvu d'une plaque qui protège la maçonnerie, quand on décharge le fourneau. La porte allégée par un contre poids peut s'abaisser et s'élever aisément. Quelques petites ouvertures pratiquées dans cette porte donnent accès à l'air atmosphérique. On les ferme lorsque le fourneau est en train, et surtout quand il fait du vent.

Pour mettre un semblable fourneau en feu, on est obligé de le chauffer au rouge avec de la houille en gros morceaux.

Après cela on y introduit de la menue houille, qui ne doit former d'abord qu'une couche de 4 ou 5 centimètres d'épaisseur: elle s'enflamme tout de suite. On ferme les portes, jusqu'à ce qu'il ne paraisse plus de flamme, ensuite on achève le chargement en deux reprises. On ouvre l'une des portes, on y introduit la houille jusqu'au centre du foyer, et lorsqu'il est à moité plein, on la ferme et l'on achève de remplir le fourneau par le côté opposé. Lorsque la carbonisation de la première moitié est terminée, on tire le coke et on le remplace tout de suite par la houille crue. Après quoi on vide le côté opposé et ainsi de suite.

Si la houille est très-grasse, le coke forme une seule masse qu'on brise à coup de ringards. On laisse volontiers quelques morceaux de coke incandescent sur la sôle pour accélérer l'inflammation de la nouvelle charge. On est obligé de charger par couches successives, lorsque la houille est très-grasse; parce que la trop grande quantité de vapeurs s'oppose à la propagation du feu et pourrait même l'éteindre.

Au Janon, près de S^{t}-Etienne, on suit un procédé particulier pour la carbonisation de la menue houille. On la passe d'abord par une claie, pour en séparer tous les morceaux qui peuvent servir sur les grilles; parce que ces mines ne les fournissent pas en très-grande quantité. On répand la menue houille sur une aire, on l'arrose fortement et on la mêle, afin qu'elle puisse prendre une forme déterminée. La carbonisation de cette houille mouillée se fait ensuite en plein air. Le tas peut être ou conique ou prismatique. Les meules coniques ont 4^{m} de diamètre à la grande base et 2^{m},30 à la petite: leur hauteur est 1^{m},15. La longueur des prismes est de 16 à 20^{m}, ou plus grande encore, selon l'espace dont on peut disposer; la largeur est de 1^{m},30 à la base et de 0^{m},65 à la surface supérieure; la hauteur est aussi de 1^{m},15. Le moule qui doit donner

la forme à la meule, se compose de planches liées l'une à l'autre par des crochets en fer, et de manière qu'on peut les joindre et les enlever facilement, lorsque la houille a été damée dans le moule. Les planches des meules coniques ou pyramidales ont la forme du trapèze. Pour donner accès à l'air dans l'intérieur du tas, on y ménage des canaux circulaires, à l'aide de pieux ou rouleaux. Pour cet effet, les planches ont trois séries d'ouverture de 8 à 10 centimètres de diamètre. La série inférieure est au niveau du sol, la deuxième est au premier tiers, et la troisième est au deuxième tiers de la hauteur du tas. Ces ouvertures sont distantes de 65 centimètres l'une de l'autre, et disposées de manière que celles qui sont à la même hauteur, correspondent à la moitié de la distance qui sépare les ouvertures de la série qui suit ou qui précède, afin que l'air puisse mieux se répartir dans toute la masse du combustible.

C'est par ces ouvertures qu'on introduit des rouleaux qui ont 8 centimètres d'épaisseur : ils sont un peu moins gros à l'une de leurs extrémités, afin qu'on puisse les retirer avec plus de facilité; ils communiquent entre eux par des pieux verticaux.

Après que les planches ont été dressées et liées ensemble, un ouvrier entre dans l'intérieur de ce moule pour damer la houille qu'on lui jette. Les rouleaux de la série inférieure ainsi que les pieux verticaux, sont mis tout de suite en place; ceux de la deuxième et de la troisième série ne le sont qu'après que le tas s'est élevé à la hauteur convenable.

Lorsque le damage de la houille est achevé, on retire les cylindres au moyen d'anneaux adaptés à l'un des bouts, on enlève ensuite les planches, et la meule est prête à recevoir le feu.

Pour allumer le tas, on dispose des morceaux de houille

autour des ouvertures, et l'on y ajoute quelques charbons incandescens. Il est essentiel que les canaux ne se bouchent pas; si cet accident arrivait, il faudrait y remédier, en donnant jour avec les ringards. On ne doit pas allumer par le bas, la meule se déformerait trop vite par le boursoufflement du coke.

Quand il ne paraît plus de flamme, que la cuisson est achevée et que la meule est encore en pleine incandescence, on y verse de l'eau qu'on fait pénétrer au centre du tas le plus qu'il est possible. Le feu en reçoit une nouvelle activité, et il se répand une odeur très-forte. On retire ensuite le coke et on l'éteint par les moyens ordinaires. On obtient au Janon, par ce procédé, du coke très-cohérent qu'on est obligé de casser quand on le tire. La carbonisation de la meule s'achève en 6 à 8 jours *.

581. Il est reconnu qu'en distillant la houille dans des vaisseaux clos, on en retire plus de charbon, pris au poids, que par les autres modes de carbonisation. Mais ce procédé, trop dispendieux pour être d'un usage général, n'est employé que dans le cas où il s'agit de recueillir tous les produits de la distillation. C'est alors sur ces produits que

* Les trous des tas prismatiques sont espacés de 50 centimètres. Un canal règne dans toute la longueur de l'axe de la base. Des ouvertures verticales lui correspondent de 50 en 50 centimètres. Les trous de la seconde série horizontale ne sont pas dans les mêmes sections verticales que ceux de la première et ceux de la troisième, afin que le tas soit mieux criblé dans tous les sens; mais comme il importe pour la circulation de l'air, qu'il y ait communication entre les canaux verticaux et tous les canaux horizontaux, on est forcé d'incliner sur les côtés du rectangle les ouvertures de la deuxième série. On ne peut construire ces tas que par partie de 4 mètres de longueur, parce qu'il serait impossible de ménager le grand canal de l'axe au moyen d'une seule perche. On construit donc un prisme ayant un peu moins de 4 mètres, d'après la règle indiquée; on retire le rouleau qui a 4 mètres de longueur, et dans le prolongement de ce premier prisme, après avoir enlevé la planche qui borne sa longueur, on en construit un autre et ainsi de suite. Le T.

soulent les spéculations, et le coke n'est plus qu'un objet accessoire *.

La distillation de la houille s'opère, soit dans des chambres de fonte, formées par des plaques jointes ensemble et munies à leur partie supérieure de tubes, qui conduisent la vapeur au récipient; soit dans des cylindres couchés, dont une des bases sert de porte par laquelle on charge et l'on retire le coke, et dont l'autre extrémité communique par des tuyaux avec les vaisseaux réfrigérans. Nous avons dit précédemment (568) quelle est l'espèce de houille qu'on doit employer. Il est évident que les produits ne doivent pas être les mêmes, que lorsque la houille en se carbonisant brûle avec flamme.

582. C'est à l'aide de fours non chauffés par une chaleur extérieure, mais dans lesquels la carbonisation se fait par une combustion lente, qu'on peut convertir d'une manière avantageuse les houilles en coke, et recueillir en même temps les autres produits de la distillation. Ne prenant point de retrait, ce combustible, s'il est carbonisé dans les fours, ne présente pas les mêmes inconvéniens que le bois. On choisit d'ordinaire des houilles médiocrement grasses; elles donnent plus de bitume ou de goudron que les houilles maigres, et elles se prêtent mieux à cette opération, en ce qu'elles n'exigent pas un courant d'air aussi fort: elles ne doivent pas être trop grasses, parce qu'en se fondant, elles pourraient fermer le passage à l'air, et que d'ailleurs il serait difficile d'enlever du foyer les masses agglutinées.

La forme des fourneaux est assez indifférente en elle-

* Le coke obtenu par la fabrication du gaz ou par celle des autres produits de la distillation, est en général très-mauvais, et ne peut guères servir que pour les usages domestiques; il donne moins de chaleur, et il retient plus de soufre que n'en contiennent les cokes fabriqués en plein air. Le T.

même : cependant pour bien gouverner le feu, on doit toujours les faire ronds. On leur donne de 7 à 9 mètres cubes de capacité, de $1^m,50$ à $2^m,20$ de diamètre et de $2^m,50$ à $2^m,80$ de hauteur dans *œuvre*. Ils se rétrécissent vers le haut : leur ouverture supérieure, qui n'a que 94 cent. de diamètre, peut se fermer avec une plaque en fonte. Le mur d'une assez forte épaisseur, et bâti en briques réfractaires, se trouve consolidé par des bandes et des ancres en fer.

Au milieu de la sole du fourneau est une grille de $0^m,94$ de diamètre, placée au-dessus d'un cendrier, et dont les barreaux sont espacés de 13 millimètres : cette grille devient inutile, si la houille est très-grasse. Dans l'une des faces, on ménage une ouverture de $1^m,55$ de hauteur, sur une largeur de $0^m,78$; elle sert pour le chargement du fourneau ; on la ferme avec des briques lorsqu'il est en activité. Au dehors est un battant de porte, en fer, pour consolider le mur construit seulement en briques placées de champ, afin qu'on puisse le faire et le défaire avec plus de facilité. Dans le pourtour du fourneau, on pratique à différentes hauteurs quatre systèmes d'évents de 40 millimètres de diamètre ; ce sont d'ordinaire des tuyaux en fonte : la série inférieure composée de 6 évents est au niveau du sol ; les autres sont éloignées entre elles, et de celle-ci de 50 cent.

Dans la partie supérieure du fourneau, près de l'ouverture de la cheminée, est adapté un tuyau en fonte de 20 à 26 cent. de diamètre, qui traverse le mur du fourneau, reçoit les vapeurs et les conduit dans le récipient. Lorsqu'on a deux foyers pour un seul récipient, il faut ouvrir et fermer les tuyaux de communication avec beaucoup de soin, pour ne pas donner lieu à des explosions.

583. En chargeant le fourneau, on place sur la grille du bois sec ou résineux. Arrivé à la hauteur de la porte, on la ferme avec le mur de briques, en y laissant, pour allumer

le feu, une ouverture correspondante à un canal que l'on a ménagé dans la masse de la houille. La cuve remplie jusqu'à l'embouchure du conduit à vapeur, est fermée avec une plaque dont les joints sont lutés. On allume ou par le cendrier ou par le canal; les évents des trois séries supérieures se ferment et ceux de la base restent ouverts. Au bout de 10 à 11 heures, on aperçoit le feu par les évents de la deuxième série; alors ceux-ci s'ouvrent et les premiers se ferment. On continue de la même manière pour les autres séries, en observant que la deuxième doit rester ouverte 10 heures, la troisième 16 et la quatrième 3 heures.

Après que tous les soupiraux sont fermés, le fourneau est maintenu 12 heures dans cet état; ensuite on abat le petit mur qui ferme la porte, on tire le coke incandescent et on l'éteint avec de l'eau.

Il ne faut pas que la houille brûle avec flamme dans le fourneau. Sa couleur doit être rouge-orange; on bouche toutes les ouvertures aussitôt qu'elle s'éclaircit et qu'elle passe au blanc; le courant d'air venant du cendrier est alors assez fort pour alimenter la combustion: on y adapte même une porte pour intercepter le tirage quand il fait un grand vent.

Il est presqu'inutile de faire observer que les soupiraux tournés du côté d'où vient le vent, doivent s'ouvrir très-peu ou rester bouchés entièrement. On ne doit jamais ouvrir de trous avant que le combustible, vu par les ouvertures qui sont immédiatement au-dessous, ne paraisse rouge-orange. Il est sur-tout très-essentiel que les matières qu'on aperçoit par les évents supérieurs, conservent toujours une couleur foncée; le trajet pour l'air et les gaz étant très-petit, ces gaz peuvent par conséquent contenir de l'air non-décomposé, s'enflammer alors et occasionner une explosion.

584. Dans les fourneaux on obtient une plus grande

quantité de coke prise au poids, dans les meules une plus grande quantité, prise au volume; mais, dans cette estimation, ne devant avoir égard qu'au poids, on trouvera que l'avantage est toujours du côté des fourneaux *.

La houille qui ne se gonfle pas, qui donne du coke dur et pesant, se traite dans les meules avec le plus de succès; tandis qu'on devrait toujours carboniser dans des fourneaux la houille médiocrement grasse; on en retirerait du coke plus dense et en plus grande quantité, et l'on recueillerait les autres produits, qui se dégagent par la carbonisation **.

Ces produits sont de l'eau, un peu de carbonate d'ammoniaque, de l'huile, un peu d'hydrogène chargé d'ammoniaque et plusieurs autres gaz incoercibles. L'ammoniaque et l'huile forment quelquefois une espèce de savon. De tous ces corps, il n'y a que l'huile dont on puisse tirer partie, parce que l'ammoniaque ne se trouve qu'en trop faible dose. Cette huile est plus ou moins pure, selon la quantité d'eau employée à la condensation des vapeurs. Après en avoir séparé une certaine portion d'eau par le repos de la masse, on obtient le goudron brut, contenant encore de l'huile volatile et beaucoup d'eau; on les chasse par l'ébullition,

* Nous ferons observer que les houilles sulfureuses carbonisées dans les fourneaux, donnent de mauvais coke, du moins pour le traitement des minérais de fer. Le T.

** On le ferait toujours, si l'on pouvait obtenir par ce moyen un coke aussi pur que par la carbonisation en plein air. Il en résulterait une économie considérable, puisque la houille qui, dans les fourneaux, peut donner 65 p. % de coke, comme par exemple celle de St-Etienne, ne fournit en plein air que 50 à 55 p. %, et puisque, par le premier procédé, on pourrait encore utiliser les autres produits de la distillation. Mais l'expérience a prouvé que ce coke venant des fours, blanchit la fonte dans les hauts fourneaux et augmente le déchet aux fineries. C'est à ces graves inconvéniens qu'est dû l'ingénieux procédé du Janon pour la carbonisation de la menue houille en plein air. Le T.

pour former ce qu'on appelle le goudron cuit; si l'on continue la concentration, on le change en poix pâteuse et ensuite en poix dure.

L'évaporation se fait quelquefois dans un alambic en fer, avec un récipient du même métal, destiné à recueillir les huiles essentielles. La meilleure forme qu'on puisse donner au récipient est celle d'un entonnoir, dont le col tourné en dessous, se trouve muni d'un robinet. En ouvrant ce dernier, on fait couler l'eau, que sa pesanteur spécifique fait descendre dans la partie inférieure du vaisseau; dès qu'il passe un peu d'huile, on referme le robinet et l'on attend que le récipient soit encore une fois rempli aux trois quarts : l'opération peut continuer sans interruption, si l'alambic, disposé de manière qu'on puisse y verser le goudron sans ôter la *chape*, porte, au point le plus bas, un conduit destiné à recevoir le goudron épuré ou parvenu à la consistance voulue.

L'huile noircit promptement à l'air. Etant de nature volatile, on pourrait l'employer pour certains vernis. Elle donne beaucoup de vapeurs dans la combustion : il ne serait donc possible de la brûler que dans les lampes qui auraient un tirage considérable; mais on n'y a pas encore réussi jusqu'à présent; elle exhale l'odeur fétide du goudron brut. Le goudron convenablement cuit n'a plus qu'une faible odeur, et la poix est entièrement inodore.

Ce goudron minéral remplace parfaitement le goudron de bois. Mélangé avec du noir de fumée ou des couleurs terreuses, il reçoit de la consistance, et il pénètre dans le bois plus que le goudron végétal, mais on est obligé d'en multiplier les couches.

Les gaz incoercibles ne peuvent guère servir à l'éclairage; ils se forment à une trop faible chaleur, lorsque le but de l'opération est la fabrication du coke ou celle du goudron.

585. La quantité de coke obtenue de 100 parties de

houille, varie entre 80 et 85. En prenant les deux corps au volume, on compte sur autant de coke que l'on emploie de combustible cru; les houilles grasses en donnent ordinairement de 5 à 15 pour cent en sus, et les houilles maigres de 1 à 10 pour cent en moins. Dans les fourneaux, la dilatation, et par suite le volume du coke, ne sont pas aussi considérables que dans les meules; mais il y a compensation sous le rapport du poids, puisqu'il pèse de 10 à 15 pour cent de plus que le coke des meules.

La houille qui, carbonisée à l'air libre, ne se gonfle pas, subit ordinairement, dans les fourneaux, un déchet de 10 à 15 pour cent mesuré au volume; mais le coke pèse de 12 à 16 pour cent de plus que celui des meules.

La houille très-grasse devrait être carbonisée en meules couvertes en terre (575 et 578). La menue houille collante, carbonisée au four, donne toujours parties égales de coke prises au volume, et quelquefois même une augmentation de 10 pour cent, quoique par cette méthode, on en brûle évidemment une assez grande quantité.

586. Le coke, dans son état de perfection, ne possède ni l'éclat vitreux, ni l'éclat gras; il est mat dans sa cassure et montre tout au plus un faible éclat soyeux: sa couleur ne passe jamais au noir de fer, mais seulement au noir grisâtre *; dans la cassure, elle est quelquefois bigarrée. S'il provient de la houille grasse, il offre un aspect coulé; tous les autres cokes ont du reste une porosité particulière que seulement, dans ceux qui sont très-pesans, on ne reconnaît pas au premier coup-d'œil: ces derniers ont une forme cubique ou rhomboïdale. Le coke boursouflé est indéterminé dans sa forme; il ressemble aux choux-fleurs ou à une sorte de végétation. La présence d'une grande quantité de terres

* Le noir grisâtre est moins foncé que le noir de fer. Voyez, pour la couleur des substances minérales d'après Werner, le système de Chimie par M. Thomson. Le T.

ou de charbon minéral, le divise, arrondit ses arrêtes et lui donne une forme tuberculeuse.

La grosseur des cokes prouve en faveur de leur pureté. Quoique la majeure partie de l'enthracite et du *charbon minéral* reste sur place dans le fraisil, les cokes en renferment encore une certaine quantité: il faut donc les trier et rejeter aussi les morceaux souillés par l'argile schisteuse qu'on reconnaît à sa blancheur.

587. Sous le rapport chimique, le coke ne diffère point du charbon de bois; le tissu de l'un est seulement plus serré que celui de l'autre. Il est vrai que les cendres du coke ne sont pas de la même nature que celles du charbon de bois; mais les cendres ne sont que mêlées aux combustibles et peuvent en être séparées par les acides et sans incinération. Ces corps mélangés aux charbons n'exercent d'autre influence que de rendre les laitiers plus fusibles ou plus réfractaires.

588. Quoique la houille ne soit pas avide d'eau, il paraît que ce liquide entre comme partie essentielle dans sa composition, presque de la même manière que dans celle du bois séché à l'air atmosphérique. Mise à sec dans son gîte long-temps avant d'être exploitée, elle se délite par l'effet de l'eau qui s'évapore, et donne ensuite de mauvais coke; il en existe même qui, pour cette raison, et bien qu'elle ait séjourné long-temps à l'air, ne peut être carbonisée. Non-seulement l'eau ne peut lui nuire, mais elle la bonifie même. Avant de la soumettre à la carbonisation, on l'arrose quelquefois, afin d'en activer la combustion, et d'obtenir des morceaux de coke plus volumineux et plus compactes.

Mais le coke, comme le charbon de bois, ne supporte pas l'eau; il peut absorber au-delà de 20 pour cent de ce liquide, brûle alors très-difficilement et ne dégage qu'une faible chaleur. On ne devrait le faire sortir des meules qu'au moment où on veut l'employer, à moins de le mettre sous un hangar pour le préserver de la pluie.

589. Faut-il préférer le coke léger au coke pesant, ou celui-ci à l'autre ? c'est ce qu'on ne peut décider en général que d'après la quantité de cendres ou de charbon minéral qu'ils renferment. Cependant le coke fritté ou légèrement boursoufflé mérite la préférence, toute chose égale d'ailleurs (573).

590. Par l'incinération de la houille en plein air ou sur une grille, on peut juger déjà, avec assez de certitude, de l'influence des cendres sur le traitement des minérais : si, en brûlant avec rapidité, elle laisse des cendres blanches et légères, et qu'en même temps elle ne soit pas trop fendillée, son coke sera d'un excellent usage. On le trouvera mauvais, si la houille brûle lentement et qu'elle se couvre de cendres lourdes et jaunâtres, qui la préservent du contact de l'air et qui arrêtent la combustion, à moins que le courant d'air ne soit très-rapide.

591. A volumes égaux et pour des quantités de cendres constantes, les cokes denses développent plus de chaleur que les cokes légers ; mais à poids égaux, ces derniers produisent toujours plus d'effet. Quant à la houille, celle qui est légère et grasse, prise au volume même, peut l'emporter sur une égale partie de houille maigre et pesante, lorsque les contenus de cendres sont les mêmes de part et d'autre.

Le rapport entre les effets produits, à poids égaux, est donc plus favorable pour le coke léger, quoique la différence soit moins forte que dans les houilles crues. La cause de ce fait dépend probablement, pour les houilles non carbonisées comme pour les bois, de la durée de la combustion, en ce que la houille légère brûle avec une plus grande rapidité.

Il serait difficile d'expliquer pourquoi les charbons de houille ou de bois, pris à poids égaux, ne donnent pas le même degré de chaleur, si ce n'était un fait prouvé par l'expérience, que la densité de l'air doit être proportionnée

à la nature du charbon, pour que, dans des temps égaux, il puisse en brûler des quantités égales. Il s'ensuivrait donc que si les poids absolus étaient les mêmes, les charbons devraient toujours produire le même effet, si la combustion avait lieu dans un air dont la pression fût en rapport avec leur compacité, ou bien si, dans un même temps, on en brûlait des quantités égales.

On a fait à Gleiwitz, dans la Haute-Silésie, des essais comparatifs sur l'effet de plusieurs cokes obtenus avec des houilles en morceaux ou en poussière. Ces cokes ont été employés à la fusion du fer cru, dans des fourneaux à manche.

Le mètre cube de cokes boursoufflés, pesait	422 kil.
Le mètre cube de coke obtenu en meules, pesait . .	478
Le mètre cube de coke obtenu dans des fourneaux distillatoires, donnait un poids de	515

Mille kilogrammes de fonte ont demandé pour entrer en liquéfaction :

	mèt. cube.
Cokes boursoufflés	1,22
Coke obtenu en meules	1,14
Coke obtenu dans des fourneaux distillatoires	1,01

Ou en évaluant ces quantités au poids :

Cokes boursoufflés	415 kil.
Coke obtenu en meules	544
Coke obtenu dans des fourneaux distillatoires	520

Il en résulte, qu'en mesurant ce combustible au volume, c'est le coke le plus pesant qui produit le plus d'effet, tandis qu'en le prenant au poids, c'est le coke le plus léger qui paraît développer le plus de chaleur *.

* La dernière partie de cette conclusion n'est pas tout-à-fait exacte, puisque le coke des meules est plus léger que celui des fourneaux, et qu'on a pourtant brûlé du premier une plus grande quantité prise au poids, qu'il n'en a fallu employer du deuxième. Le T.

Ces sortes d'expériences exigent beaucoup de soins; il est essentiel que la quantité d'air et la vitesse du vent, soient toujours en rapport avec la nature du charbon; c'est d'après ces considérations qu'il faut juger des expériences de Mushet, dont les résultats ne sont pas assez favorables pour les charbons pesans.

592. Plusieurs auteurs ont voulu comparer la houille et le bois, sous le rapport des quantités de chaleur dégagées; mais leurs calculs, en tant qu'ils sont établis sur les poids de ces deux combustibles, sont très-incertains, parce que la pesanteur du bois n'est pas encore exactement déterminée. D'ailleurs, les bois diffèrent dans leurs effets; ces sortes de comparaisons ne peuvent donc avoir lieu qu'avec des essences données, sous un état hygrométrique déterminé, et pour des houilles connues sous le rapport de leurs propriétés. Ceux qui pensent qu'un kilogramme de houille est équivalent à deux de bois de pin, peuvent être aussi bien fondés dans leur opinion, que ceux qui, d'après d'autres expériences, croient que ce kilogramme peut produire autant d'effet que 4 kilogr. de pin silvestre.

Il est tout aussi difficile de vouloir déterminer ce rapport d'après le volume, parce que les espaces vides qui restent dans les cordes, l'âge et la qualité du bois et celle de la houille, modifient les résultats de diverses manières. On ne peut donc établir ces sortes de comparaisons que pour chaque cas particulier. On pense communément que les houilles produisent, par la combustion, le même effet que cinq ou six fois leur volume de bois de pin; mais ces données ne sont point susceptibles d'une application générale. D'après des essais comparatifs faits à Iedlitz, dans la Haute-Silésie, on a trouvé que, dans un fourneau à chauffer la tôle, 100 mètres cubes de bois produisaient autant d'effet que 16 mètres cubes de houille; ou ce qui revient au même, que 100 mètres cubes de houille pouvaient être substitués à 635 stères de bois.

593. Ce que nous avons dit des erreurs qui peuvent provenir de la pesanteur spécifique de la houille crue et de celle du bois, s'applique aussi au coke et au charbon de bois. On admet en général que 1^m cube de charbon de pin pèse 157 kilogrammes; mais cette donnée est très-incertaine; elle varie considérablement avec la grosseur des charbons, avec l'état hygrométrique de l'atmosphère, etc. Il en est de même du coke. En thèse très-générale on peut cependant admettre que, pour le traitement des minérais de fer, dans les fourneaux à cuve, l'effet du coke, pris au volume, est à celui du charbon de bois comme 2 : 1; ou qu'avec une partie de coke, on obtient la même quantité de fonte qu'avec 2 parties de charbon végétal.

Prises au poids, il faut 3 parties de coke pour en remplacer 2 de charbon; il est probable que la cause de cette différence provient de ce que les cendres du coke sont très-réfractaires et qu'une partie de l'effet du combustible est employée à leur liquéfaction *.

Pour obtenir dans les usines de la Haute-Silésie 100 kil. de fonte, les minérais ayant été les mêmes, on consomma

	mèt. cub.	kil.
Charbon de pin.	1,00444	157,527
Coke.	0,56359	270,720

De sorte qu'en prenant ces combustibles à la mesure, les quantités de charbon de bois ou de coke qu'il faut employer, pour produire un effet donné, seront entre elles, comme 100 : 56; et qu'en les prenant au poids, comme 100 : 171.

Il paraît que dans les fourneaux à manche, le rapport est plus favorable pour le coke: si l'on admet, comme terme moyen (936), que pour refondre 100 kil. de fer cru, il faille :

* L'effet produit est le même que si les minérais ou les fondans étaient plus réfractaires, et dans ce cas, il faudrait plus de charbon pour une quantité de fonte donnée. Le T.

	mèt. cub.	kil.
Charbon de pin.	0,4289	66,25
Coke.	0,09899	47,6

Il s'ensuit que, prises à la mesure, les quantités de charbon ou les quantités de coke qu'il faudrait employer pour fondre une certaine quantité de fer cru, seraient entre elles comme 100 : 23, et qu'en prenant ces combustibles au poids, elles seraient comme 100 : 71.

Dans les cubilots très-élevés, ce rapport devient plus favorable pour le bois, dont la consommation se trouve réduite de presque moitié (935), ce qui prouve évidemment l'inconstance ou le défaut de généralité de ces sortes de résultats*.

594. On ne peut établir en principe, que les hauts fourneaux doivent être activés avec le coke, plutôt qu'avec le charbon de bois, ou *vice versâ*. Ce sont les localités, les

* Les résultats de ces sortes d'expériences par lesquelles on voudrait apprécier les effets relatifs des combustibles, ne pourraient dans aucun cas recevoir une application générale. Ils sont modifiés non-seulement par les causes d'erreur précédemment énumérées, mais aussi par la forme des appareils ou fourneaux dans lesquels s'opère la combustion, et surtout par le degré de chaleur qu'on a besoin de produire. Si, en fondant du plomb, on voulait comparer l'effet du coke à celui du charbon de bois blanc, on obtiendrait des résultats tout autres que ceux qui seraient donnés par la liquéfaction d'un métal moins fusible, de l'acier par exemple. Dans ce dernier cas, le charbon de bois blanc produirait un effet relatif beaucoup plus petit qu'il ne le serait dans le premier. Il se pourrait même, dans un essai de ce genre, que l'effet du charbon de bois blanc fût presque nul par rapport à celui du coke. C'est ce qui arriverait, s'il fallait élever la température à un degré tel qu'on pût à peine le produire par la combustion d'un charbon léger. Ces expériences comparatives peuvent être très-utiles, quand elles ont été faites avec les précautions voulues, quand les qualités et les propriétés des combustibles employés, ainsi que les circonstances accidentelles, ont été bien observées; mais on commettrait de graves erreurs, si, généralisant les données, on voulait appliquer les résultats d'une expérience spéciale à des opérations quelconques ou d'une autre nature. Le T.

prix de l'une et de l'autre *de ces substances* qui doivent décider la question. Cependant nous devons ajouter, que pour les fourneaux alimentés avec du coke, les frais d'établissement et d'entretien sont plus considérables, le travail du fondeur est plus difficile et plus compliqué, enfin la qualité des fontes est plus dépendante de la nature du combustible; d'un autre côté, la grande chaleur qui doit régner dans l'ouvrage de ces fourneaux, opère une réduction plus complète des minérais. Mais la fonte se charge de bases terreuses et devient, en général, moins pure que celle qu'on obtient au charbon de bois, demande plus de soins pendant l'affinage et subit un plus fort déchet. Ces inconvéniens sont diminués considérablement, lorsque les minérais sont de bonne qualité, que le coke renferme peu de cendres, et surtout quand les charges sont composées de manière que les laitiers acquièrent la liquidité convenable.

TABLE

Des Ouvrages et des Auteurs cités par M. Karsten, dans le Manuel de la métallurgie du fer *.

37. *Haussmanni commentatio de arte ferri conficiendi veterum, imprimis Graecorum et Romanorum Gottingae*, 1820.

41. A M. Héron de Villefosse, de la richesse minérale. Considérations sur les mines, usines et salines des différens états, etc., etc., tome I. Division économique. Paris, 1810. — *Historical remarks relative to the manufactures of iron and steel in the great Britain, By doctor* Mushet; *Tilloch's, phil. Mag.*, tome II, p. 346, 353. — *On the origin and progress of the manufacture of pig iron with pit-coal, wood and peat-char; By doctor* Mushet; *Tilloch's, ph. Mag.*, tome VII, p. 35, 46. — Karsten, *Uebersicht der Berg-und hüttenmännischen Production in der preussischen Monarchie, Archiv. f. Bergbau und Hüttenwesen*, tome XIV, p. 123 à 130.

46. Rinman, Histoire du fer, traduit du suédois en allemand, par Karsten, tome I, p. 488, 646, 653; tome II, p. 517, 684. — J. G. Stünkel, sur l'influence du manganèse dans la préparation du fer en grand. *Neues Bergmännisches, Journal*, t. III, p. 443 et suiv.

50. Rinmann, tome I, p. 17 et suiv. — Mémoire sur le polissage du fer et de l'acier, traduit du suédois en allemand, par

* Nous avons cru devoir rejeter à la fin de chaque volume les citations qui, dans l'ouvrage original, sont intercalées dans le texte, d'autant plus qu'elles sont très-étendues, qu'elles remplissent des pages entières, et qu'elles se rapportent souvent à un grand nombre de paragraphes. Nous avons toujours renvoyé aux premières sources pour les citations des auteurs français, dont les écrits ont été traduits et insérés dans les journeaux allemands cités par M. Karsten. Le T.

GROENING. Flensbourg, 1787. — Procédé des anglais pour polir l'acier et en augmenter l'éclat, *Schrebers Sammlungen*, tome X, p. 237.

53. RINMAN, tome I, p. 493. — JERN CONTORETS, An. 1822, p. 176.

54. RINMAN, tome I, p. 129 et suiv.

62. RINMAN, tome I, p. 106. — PEARSON's, *Expériments and observations on Wootz; Repertory of Arts*, tome XLIX. — STODART et FARADAY, Arch. tome VIII, p. 193. — STENGEL, Arch. tome IX, p. 243.

64. GUYTON MORVEAU, Maret et Durande, Élémens de Chimie.

69. SCHWEIGGER's, *Neues Journal f. Chemie, und Phys.*, 1812, tome V, p. 441 et suiv. — Extrait d'une lettre adressée à M. DARCET, sur les moyens de scier la fonte de fer à chaud, avec une note de M. DARCET, Annales de Chimie, tome LXXXII, p. 218, 228.

91. PÉTRI MUSCHENBROEK, *de firmitate metallorum; dissertatio de cohaerentia et firmitate; Introductio ad Philosophiam naturalem. Lugd. Batav*, 1762, tome I, p. 390 — 476. — SICKINGEN, *Versuche über die Platina*, 1782, p. 114. — GUYTON MORVEAU, Annales de Chimie, tome LXXI, p. 189 à 199. — MONGE, Description de l'art de fabriquer les canons, p. 18. — Expériences faites par M. SOUFFLOT, sur la force des fers, dans le traité théorique et pratique de l'art de bâtir, par RONDELET, tome IV, part. II, p. 85 et suiv. — *Account of experiments made on the strength of materials; By G.* RENNIE, *Phylosoph. transactions for the year*, 1818, tome I, p. 118 à 136. — *An essay on the strength of cast iron and stress of timber, By Barlow. London*, 1824. — PRACTICAL *essay on the strength of cast iron and other metals, By F.* TREDGOLD, *London*, 1824. — Essai théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé, par A. DULEAU. Paris, 1820. — Description du pont suspendu, en fil de fer, construit à Genève, par DUFOUR. Genève et Paris, 1824. — Des ponts en fil de fer, par SÉGUIN aîné. Paris, 1824. — GAZERAN, sur les fers de fontes obtenues avec le charbon de terre desoufré,

et sur leur ténacité comparée à celle des fontes qui proviennent des forges où l'on n'emploie que le charbon de bois. Annales de Chimie, tome VII, p. 97 — 112. — TEXIER, de Norbeck, recherches sur l'Artillerie, tome II, p. 391. — *Jern contorets Annaler*, 1824, tome VIII, p. 297. — Traité sur la construction des ponts, par GAUTHEY, tome II, p. 152. — *Power of machines, By* BANKS, p. 89. — Sur les variations que peut éprouver dans la longueur une barre de fer, soumise à l'action de diverses forces, par PICTET, Bibliothèque britannique, nouvelle série, ou Bibliothèque universelle, tome I, p. 171, 200. — *An Account of some experiments to ascertain the strength of such as cast iron, as are commonly used in mill work, and was proportion their strenght has to their diameters. By Dunlop.* THOMSON'S, *annals of phylosophy*, tome XIII, p. 200 — 203. — *Zusammenstellung mehrerer, sehr interressanter Versuche, welche über die absolute, respective und rückwirkende Festigkeit verschiedener Matérialien, als des Eisens, des Bauholzes u. s. f. neuerlich angestelt worden sind. Von A. Burg. In den Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes zu Wien*, tome V, page 215—287. — *Versuche über die Festigkeit der Metalle, besonders des Eisens. Zusammengetragen von* KARSTEN. *Archiv. f. Bergb. u. Hüttenwesen*, tome X, p. 3 à 107.

94. RINMAN, tome I, p. 636 et suiv.

97. SEEBECK, *über den Magnetismus der galvanischen Kette. Abhandlung der Berliner Academie der Wissenschaften. f.* 1820 *und* 1821 *physik. Classe* p. 288—346.

98. M. ARAGO, annales de chimie et de physique, tome XV, p. 93; tome XXXII, p. 213. — SEEBECK, POGGENDORF'S, *Annalen*, tome LXXXIII, p. 203.

99. M. SEEBECK, sur la polarisation des métaux et des minérais par une différence de température. Académie de Berlin pour 1822 et 1823.

100. TORELLI, journal des mines n° 77, tom. XIII, p. 355.

102. BARLOW, Annales de chimie et de physique, tome XX, p. 107, 427.

103. RINMAN, tome I, p. 154 à 215. — SEEBECK annales de POGGENDORF, tome LXXXIII, p. 213.

107. RINMAN, tome I, p. 269. et suiv.

109. RINMAN, tome I, p. 383. et suiv.

110. HÆLLSTROEM, sur la dillatation du fer. Gilbert's *neue Annalen der Physik*, tome VI, p. 52. — FISCHER, *Physikalisches Wörterbuch*, tome IV, p. 58.

111. DALTON's *new system of chemical phylosophy*. DAVY, *elements of chemical phylosophy*. — Physique de BIOT, tome I, p. 158. — PETIT et DULONG, annales de chimie et de physique, tome II, p. 254.

112. MUSCHENBROEK, *introd. ad. ph. nat.*, tome II. — RINMAN, tome II, p. 718.

114. DAVY, sur la cause du changement de couleur qu'éprouve la surface de l'acier soumis à la chaleur, *Scweigger's neues Journal f. Chemie u. Phys.*, tome XI, p. 47. — *Lüdicke in Gilbert's Annalen der Physik*, tome XXXIV, p. 235—239.

116. RINMAN, tome I, p. 260, et suiv. — Procédé pour bleuir le fer et l'acier polis, annales des arts et manufactures, tome XXII, p. 292.

117. RINMAN, tome I, p. 238 et suiv.; tome II, p. 723.

119. RINMAN, tome I, p. 273 et suiv. Archiv. t. VIII p. 382.

122. *id.* tome II, p. 719.

126. *id.* tome I, p. 276 à 306.

127. *id.* tome I, p. 307 à 337. — KASTNER's *deutscher Gewerbsfreund*, tome I, p. 301.

128, RINMAN, tome I, p. 312 et suiv.

132. TIEMANN, effet du charbon sur le fer sous le rapport de la fabrication de l'acier. *v. Crell's chem Annalen* pour 1803, tome I p. 235 à 240, 293 à 297; ou GEHLEN's, *neues algemeines Journal f. Chemie*, tome III, p. 640 à 669,

133. RINMAN, tome II, p. 593 et suiv.

134. M. KENZIE, *Nicholson's, Jour. of Chem.*, tome IV, p. 109. — COLLET-DESCOTILS, sur la conversion du fer en acier, dans des creusets fermés, sans contact d'aucune substance contenant du carbone, annoncée par Mushet, et sur la facile fusion du fer, Journal des Mines, n° 77, tome XIII p. 421 à 423.

135. RINMAN, tome II, p. 519.

139. *id.* tome II, p. 625 et 639. — Th. GILL, sur la soudure de l'acier fondu, Annales des mines, tome VI p. 621. GILL THOMSON'S, *annals of phylosophy*, n° LXIV p. 289

142. *Id.* tome I, p. 229 et suiv.

145. *Id.* tome II, p. 689.

146. *Id.* tome II, p. 555 à 582 730 à 736.

147. Notice sur un fait observé à la fonderie de Bourth, département de l'Eure, Journal des Mines, n° 6, p. 38 à 40.

148. STENGEL, sur la formation du graphite. Archiv. tome XV, p. 177 et suiv.

153. RINMAN. Voyez la citation du paragraphe 117.—KASTNER'S *deutscher Gewersbfreund*, tome I, p. 303. — RÉAUMUR, nouvel art d'adoucir le fer fondu, et de faire des ouvrages de fer fondu aussi fins que de fer forgé. Paris. 1722. — SWEDENBORG., *de ferro*, p. 225—237. — Extrait du rapport fait à la société d'encouragement sur le prix de 3000 fr. donné à MM. Baradelle et Déodor, pour la fabrication de divers objets de petites dimensions, en fonte de fer adoucie, Annales des mines, tome IV, p. 159 à 164. Bulletin de la société d'encouragement, tome XVII. p. 283.

163. PROUST, mémoire lu à l'institut en l'an 5. — THÉNARD, Considération sur l'oxidation des métaux en général, et en particulier sur l'oxidation du fer, Annales de chimie, tome LVI, p. 59. — BERTHOLLET, sur les degrés d'oxidation des métaux, Statique chimique, tome II, p. 370. Le même, observations relatives à différens mémoires de Proust. Journal de Physique, tome LX, p. 284, et tome LXI, p. 352 et suiv., et sur-tout page 356 à 360. — PROUST, sur les oxidations métalliques, Journal de physique, 1804, tome LIX, p. 321. — DARSO, recherches

sur les oxidations du fer, Journal de Physique, 1806, tome LXIII, p. 291 — Bucholz, sur la quantité d'oxigène contenue dans les oxides de fer, *Gehlen's Journal*, tome III, p. 696 et suiv. — Hassenfratz, sur l'oxidation du fer, Annales de Chimie, tome LXVII, p. 309. — Bucholz, sur la non existence de l'oxide blanc, *Gehlen's Journal*, tome VII, p. 681 et suiv. Voyez aussi le Journal des Mines, n° 131, tome XXII, p. 362. — Berzélius, essais sur les proportions déterminées dans lesquelles se trouvent réunis les élémens de la nature inorganique, Annales de Chime, tome LXXVIII, p. 228. Voyez pour la suite de ce traité, les tomes 79, 80, 81, 82, etc. Le même sur le magnétisme du fer oxidé, *Gilbert's, neue Annalen der Physik*, tome VIII, p. 231. — Gay-Lussac, sur les oxides de fer. Annales de Chimie, tome LXXX, p. 165. — Berzélius, *Gilbert's neue Annalen*, tome II, p. 277 et suivantes. — Berthier, sur les battitures. Annales de Chimie et de Physique, tome XXVII, p. 19. Annales des mines, tome X, p. 120, année 1825. — M. Mosander, sur la composition des battitures de fer. Annales des mines, 2e série, tome I, p. 273. Annales de Poggendorf, tome VI, page 35. — Stromeyer, sur l'oxidule de fer. Archiv. tome XIII p. 376.

164. Scherer's, *Journal der Chemie*, tome VIII, p. 323. — Macquer, *Chemisches Wörterbuch*. — Rinman, tome II, p. 229 à 356. — Sur l'oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau. Annales de Chimie et de Physique, tome XI, p. 40.

165. Landriani sur le bleu de Prusse, p. 42. — Girtanner, *Crell's neuesten Entdeckungen der Chemie*. XI, p. 3. — Westrumb, sur la solubilité du fer dans l'eau pure; *kleine phys. chem. Abhandlungen*, tome III 249 et suiv.

166. Berzélius, dans le mémoire précité, Annales de Chimie, tome LXXVIII, p. 228.

168. Archiv., tome X, p. 276.

169. Rinman, tome I, p. 73 et suiv.; tome II, p. 342 et suiv. — Aikin, Archiv., tome VI, p. 415. Voyez aussi les annales de chimie et de physique, tome XIX, p. 443.

170. Rinman, tome I, p. 83 et suiv. — *Annals of phylosophy*,

tome XI, p. 238. — Procédé pour bronzer les canons de fusils: *Kunst und Gewerbé-Blatt des polytechnischen Vereins für das Konigreich Bayern.* Année 1824. 4me division, p. 279.

171. Bergman, *de analysi ferri Upsal,* 1781, et dans ses *opousc. phys. chem.*, tome III, p. 1 et suiv. — Rinman, tome II, p. 282 et suiv., 754 et suiv. — Vandermonde, Berthollet et Monge, Mémoire sur les différens états métalliques du fer, Histoire de l'Académie royale des sciences, 1786. — De Morveau, Encyclopédie méthodique, tome I, p. 420 à 451. Le même, sur la théorie de la conversion du fer en acier, Journal de Physique, tome XXIX, p. 125. — Résultats d'expériences sur les différens états du fer par Clouet, Journal des Mines, tome IX, n° 49, p. 3 à 12. — Rapport de Guyton Morveau sur le mémoire de Clouet, Annales de Chimie, tome XXVIII, p. 19 à 39, et Journal des Mines, tome VIII, n° 45, p. 703. — Mussin Puschkin, sur la conversion du fer en acier, *Scherer's chem. Journal,* tome II, p. 496. — Collet Descotils, sur la conversion du fer en acier, sans contact d'aucune substance contenant du carbone, Journal des Mines, tome XIII, p. 421 et suiv. — Annales des Arts, tome V, p. 25 et 36; tome XIII, p. 225 et suiv. — Procédé de Mushet, pour faire des aciers de toutes les qualités, Journal britannique, n° 144, ou Annales de Chimie, tome XLI, p. 177. — Traité de Tiemann, cité précédemment (132), tome V, p. 362 à 379. — Kenzie, *Scherer's chem. Journal.* — Guyton Morveau, de la conversion du fer doux en acier fondu, par le diamant, Annales de Chimie, tome XXXI, p. 328. — Analyse raisonnée de la Théorie de Clouet et Mémoire de Mushet; *Tilloch's philos. Mag.*, tome V, p. 200, tome IX, p. 235, tome XII, p. 27, 97 et 193. — Pour le même objet, Archiv., tome IX, pages 373, 397, 417. — Sur quelques objets importants de la métallurgie du fer, par A. Müller, Halle, 1822. — Vismara, Arch., tome XIV, p. 446.

173. Essais sur la plombagine, Scheele, 1779, traduit en allemand dans *Crell's neuesten Entdeckungen,* tome VII, p. 153. — Allen et Pepys, sur la quantité de carbone contenue dans l'acide carbonique, phil. trans., 1807, Journal des Mines, tome XXIII, p. 33. — Davy, Recherches sur l'état du carbone dans la

plombagine, le charbon et le diamant, phil. trans., 1814. — Analyse du graphite d'Angleterre et d'Espagne par Schrader, *Magazin der Gesell. naturf. Freunde, à Berlin*, 1810, p. 205. — KASTNER, Observations sur le graphite, *deutscher Gewerbsfreund*, cahier I, p. 78 à 84. — KARSTEN, sur la combinaison du fer avec le carbone. Archiv., tome VIII, p. 3 et suiv. : traduit dans la 1re édition française de la métallurgie du fer, et par extrait dans les Annales des Mines, tome IX, p. 657. — Sur la fusion du graphite, de l'anthracite et du diamant, *Schweiger's Journal*, nouvelle série, tome IX. p. 87.

174. RINMAN, tome II, p. 759. — MUSHET, *on the différent proportions of carbon, which constitute the various qualities of crude iron and steel; Tilloch's, Philosoph. Magaz*, tome XII, p. 322, 327. tome XIII, p. 3, 9, 142 et suiv.

178. VAUQUELIN, Journal des Mines, n° XXV, p. 1. — Sur le contenu de carbone de plusieurs espèces d'acier; Archiv., tome VIII, p. 184.

179. Mémoire de KARSTEN sur la combinaison du carbone avec le fer (voyez la citation du paragraphe 173.

185. ARFVEDSON; Archiv., tom. VII, p. 510. — KARSTEN, dans le même ouvrage, tome IX, p. 532. — BERZELIUS, Archiv., tome XIV, p. 450.

186. BERTHIER. Annales des Mines, 1re série, tome VII, p. 421 et suiv.

187. BERZELIUS, Archiv., tome XIV, p. 450.

188. *id.* *id.* tome III p. 239.

189. GUENYVEAU, sur la désulfuration des métaux. Journal des Mines, tome XXI, p. 5 à 26. — PROUST, sur quelques sulfures métalliques, Journal de phys., tome LIII, p. 89. — HATCHETT, *Gehlen's, neues Jour. f. Chemie*, tome VI, p. 320, *Phil. trans.*, 1804. — BERTHOLLET, Elémens de statique chimique, tome II, p. 433 et suiv.; le même, Journal de Physique, tome LX, p. 347 et suiv. — BUCHOLZ et GEHLEN, sur le fer sulfuré; *Gehlen's Journal f. Chemie und Physik.*, tome IV, p. 291, tome V, p. 621 et suiv.

— Berzelius, Essai sur les proportions des élémens du règne inorganique, Fer et Soufre, Annales de Chimie, tome LXXVIII, p. 125; *Gilbert's, Annalen der physik.* tome XXXVII. — Rinman, tome II, page 502. — Stromeyer, sur la quantité de soufre contenue dans la pyrite magnétique, *Gilbert's neue Annalen der Physik*, tome XVII, p. 90 et suiv.; Analyse des deux pyrites magnétiques, et recherches sur la pyrite magnétique artificielle. — *Ibid.*, tome XVIII, p. 183 à 192. Observations de M. Berzelius sur les données de M. Stromeyer, *ib.*, p. 209. — Rose, sur la pyrite de cuivre et sur la pyrite magnétique, Archiv., tome VII, p. 227. — Sur une pyrite magnétique de Fahlun. Archiv., tome XIV, p. 453.

190. Schluter, p. 202 et suiv. — Lampadius, Manuel de la minéralurgie, tome II, p. 252 et suiv. — Rose, Archiv., tome XI, p. 427.

195. Extrait d'un second mémoire sur le phosphore, Pelletier, dans les observations sur la physique, tome XXXIV, p. 193 et suiv.

198. Bergman, *de causâ fragilitatis ferri frigidi Opusc. phys. chem.*, tome III, p. 109; et *de analysi ferri frigidi.* Ib., p. 98. — Meyer, *Berliner Gesellschaft. naturf. Freunde*, tome II, p. 334; tome III, p. 380; supplément dans *v Crell's, chem. Annalen. f.* 1784, tome I, p. 195; et 1786, tome II, p. 300. — Klaproth, sur la sidérite, *ib.*, 390. — Décomposition de la sidérite par Scheele, *ib.*, pour 1785, tome II, p. 387. — Vauquelin, Journal des Mines, tome XX, n° 119, p. 389 à 400.

199. Essais de Scheele sur la plombagine, *v Crell's neuesten Entdekungen*, tome VII, p. 153. — Berzelius et Marcet, sur l'alcool de soufre ou sulfure de carbone, Annales de Chimie, tome LXXXIX, p. 67. — Cluzel, sur la nature de la liqueur obtenue par l'action réciproque du soufre et du charbon, Annales de Chimie, tome LXXXIV, p. 72. — Rapport sur le mémoire de Cluzel, par Berthollet, Thénard et Vauquelin, Annales de Chimie, tome LXXXIII, p. 252.

202. Évain, Annales de Chimie et de Physique, tome XXV, p. 107.

209. Décomposition de la silice par BERZELIUS, *Gilbert's, neue Annalen. der Physik*, tome VI, p. 92.

210. BERGMAN, *de analysi ferri*, *Opusc.*, tome III. — MONGE, BERTHOLLET et VANDERMONDE, dans le mémoire précédemment cité. — RINMAN, tome II, p. 373 à 380.

212. VAUQUELIN, mémoire lu à l'institut le 22 septembre 1806, voyez le Journal des Mines, tome XX, p. 391, 392 et suiv.

220. STODART *aud* FARADAY, *experiments on the alloys of steel. Phlosoph Transactions of the royal society of London*, 1822. Part. II. Annales de Chimie et de Physique, tome XV, p. 127; tome XXI, p. 62, ou Annales des Mines, tome VI, p. 260, 265 à 280.

225. RINMAN, tome II, p. 360 à 363, 442. — DOEBEREINER, sur la combinaison du carbonate de fer avec les carbonates alcalins, *Schweiggers neues Journal f. Chemie und Physik*, t. IX, p. 1 à 8.

226. MONNET, traité de la vitriolisation et l'alumination. 1769. — BUCHOLZ, de l'action de l'acide sulfurique sur le peroxide de fer, *Gehlen's Journal f. Chemie und Physik*, tome III, p. 721 et suiv.

229. BERTHOLLET, Annales de Chimie, tome II, p. 58. — FOURCROY, système de Chimie, tome VI, p. 200. — VAUQUELIN, Analyse de quatre échantillons d'acier, Journal des Mines, tome XXV, p. 1 et suiv.

230. BUCHOLZ, essais sur la dissolution du fer, ou de ses oxides dans l'acide nitrique, *Gehlen's Journal f. Chemie und Physik*, tome III, p. 715.

231. H. DAVY, *Schweigger's, neues Journal f. Chemie und Phys.*, tome III, p. 233, 235, 237. Le même sur la combinaison du chlore avec l'oxigène, *ib.*, p. 26. — J. DAVY, sur la combinaison du chlore avec les métaux, *Phil. Trans.* pour 1812.

233. CHENEVIX, décomposition de quelques arseniates de cuivre et de fer, Annales de Chimie, tome XLV, p. 44, *Phil. Trans.* 1801, p. 190, *ib.*, p. 220. — BERZELIUS, Annales de Chimie, tome XVII, p. 218.

236. Sur la préparation de l'acetate de fer employé comme mordant, dans la teinture et dans les fabriques de toile peinte, Annales des Arts, tome XI, p. 237 à 244.

238. DAVY, Mémoire sur l'Iode, traduit par M. de la RIVE, Annales de Chimie, tome XCII, p. 89. — COLIN, Annales de Chimie, tome XCI, p. 252. — GAY-LUSSAC, Mémoire sur l'Iode, Annales de Chimie, tome XCI, p. 5.

239. BERTHOLLET, sur l'hydrogène sulfuré, Annales de Chimie, tome XXV, p. 233. — VAUQUELIN, expériences relatives à l'action de l'hydrogène sulfuré sur le fer, Annales de Chimie, t. XXXVII, p. 191.

242. SCHÉELE, sur la matière colorante du bleu de Prusse, Transactions de Stockholm, pour 1782 et 1783. — PROUST, sur le prussiate de fer, Annales de Chimie, tome LX, p. 185. — WEBER, *Bekannte und unbekannte Fabriken, und Künste.* — ITTNER *Versuche über die Blausäure.* — GADOLIN, sur les essais des minérais de fer par la voie humide. — HÆNLE, *Chemisch techn. Abhandl,* tome II; *Frankf. sur le Mein.* 1810. — Chimie de BERZELIUS. — *Gmelin Schweigger's neues Journal,* tome IV, p. 325.

243. Résumé de toutes les recherches faites sur la nature du tanin, de l'acide gallique et de ses composés. *Scherer's Journal der Chemie,* tome VII, p. 472, 487, 599. — *Gehlen's neues allgem. Journal der Chemie,* tome VI, p. 220 à 248.

244. RINMAN, tome II, p. 427 à 441.

243. RINMAN, tome I, p. 60 à 66.

245. HASSENFRATZ, Journal des Mines, tome XXIII, p. 275.

247. SERULLAS, Annales de Chimie et de Physique, tome XXI, p. 197. — BERTHIER, Annales des Mines, tome IX, p. 249. — Le même chimiste, Annales des Mines, tome XIII, p. 101. — KARSTEN, *Archiv. für Bergbau,* tome XV, p. 3.

249. BERZELIUS, sur la décomposition de la silice, par les moyens chimiques ordinaires. *Gilbert's, Annalen der Physick*

neue Folge, tome VI, p. 89. — STROMEYER, sur les différentes combinaisons du fer avec le silicium, tome VII, p. 335 et suiv.; tome VIII, p. 233, 321 à 330. Voyez le Journal de Physique 1812, tome LXXIV, p. 129.

250. BOUSSINGAULT, Annales de Chimie et de Physique, tome XVI, p. 1 à 16. — MUSHET, *Tilloch's philosoph Magazine*, tome V, p. 201 à 205, tome XII, p. 27 à 35, 97 à 105, tome XII, p. 193. — *Archiv.*, tome IX, p. 417.

251. GRIGNON, sur l'amiante ferrugineux. Mémoire de Physique sur l'art de fabriquer le fer. Paris 1775, p. 1 à 19. — KOCH, *Beiträge zur Kenntniss kristallinischer Hüttenproducte, Gottingue* 1823.

252. STODART et FARADAY, *Quaterly Journal of literature, science and arts*, tome VII, p. 288 et suiv. Voyez pour ces expériences, les Annales de Chimie et de Physique, tome XV, p. 127; tome XXI, p. 62; ou les Annales des Mines, tome VI, p. 260 et 265 à 280.

256. RINMAN, tome II, p. 5 à 59. — HATCHETT, sur les alliages d'or, p. 37. — STODART et FARADAY, Archiv. tome IX, p. 343.

258. RINMAN, tome II, p. 54. — GUYTON-MORVEAU, Annales de Chimie, tome XLIII, p. 47. — Journal des Mines, n° 70, p. 320. — COULOMB, Journal de Physique, tome LIV, p. 454.

259. STODART et FARADAY, dans les écrits cités au § 252.

261. RINMAN, tome II, p. 133 à 136, sur la combinaison du fer avec le mercure, *Kastner's deutscher Gewerbsfreund*, cahier I, p. 24. — *Aiken Gilbert's Annalen*, tome XIV, p. 242.

262. STODART et FARADAY. (Voyez la citation du § 252.)

263. RINMANN, tome I, p. 496 et tome II, p. 70 et suiv. — LEVASSEUR, Annales de chimie, tome XLII, p. 183. — HASSENFRATZ, Sidérotechnie, tome III, p. 163.

265. STODART et FARADAY, voyez la citation du paragraphe 252. — Archiv., tome VIII, p. 106.

267. Rinman, tome II, p. 126 et suiv. — Guyton Morveau, Annales de Chimie, tome XLIII, p. 47. Journal des Mines, n° 70, p. 321.

268. Rinman, tome I, p. 497. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 162.

269. Rinman, tome I, p. 496; tome II, p. 103 et suiv. — Bergman, , *de ferro et stanno igne commixtis. Opusc. phys. et chem.* tome II, p. 471. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 163. — Stodart et Faraday, dans les ouvrages précités (220 et 252.

270. Rinman, tome II, p. 120 et suiv., 780 et suiv. Sur les moirés métalliques. Bulletin de la société d'encouragement, mois de janvier 1819, et Annales des Mines, tome IV, p. 649.

271. Rinman, tome II, p. 205 et suiv. — Gmelin, sur la combinaison du zinc avec le fer, *Crell's Annalen pour* 1785, tome I, p. 195 à 228; pour 1788, tome I, p. 485 à 493.—Hollunder, *Schweigger's Journal f. Chemie und Physik*, tome XXXIII, p. 41 et 166 à 195.

272. Selb, sur le zinc trouvé dans un haut fourneau, *Gehlen's, journal f. Chemie und Physik*, tome VIII, p. 187 et suiv. — Bouesnel, mémoire sur un produit métallurgique qui se forme dans quelques hauts founeaux, Journal des Mines, tome XXIX, n° 169, p. 36 à 50 et 79. — Grignan, sur la découverte de la cadmie des forges à fer. Mémoires de physique sur l'art de fabriquer le fer. Paris, 1775, p. 274 à 295.

274. Rinman, tome I, p. 498. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 163.

276. Rinman, tome I, p. 498 et suiv.; et tome II, p. 200 et suiv. — Hassenfratz, tom III, p. 162.

277. Rinman, tome I, p. 497; tome II, p. 93 et suiv. — Hassenfratz, tome III, p. 162.

278. Bergman, *Opusc*, tome II, p. 281. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 162, et suiv. — Lampadius, *Schweigger's, Journal f. Chemie und Physik*, tome XXXIII, p. 198. —

GARNEI, *Handledning uti Suenska Masmästeriet*, p. 199. — RINMAN, tome I, p. 499; tome II, 180 et suiv.

280. RINMAN, tome I, p. 499; tome II, p. 156. — BERGMAN, *Opusc.*, tome III, p. 462; tome IV, p. 371. — HASSENFRATZ, tome III, p. 162.

282. RINMAN, tome I, 498; tome II, p. 167, etc. — BERGMAN et HASSENFRATZ, déjà cités. — GARNEY.

286. STODART et FARADAY, voyez la citation des paragraphes 220 et 252. — WOLLASTON, Archiv., tome IX, p. 518, et Annales des Mines, tome IX, p. 228. — KARSTEN, Archiv., tome IX, p. 530 et tome X, p. 294. — GRIGNON, sur les cristallisations métalliques, pyriteuses et vitreuses, formées par le moyen du feu; Mémoires de Physique sur l'art de fabriquer le fer, p. 478 et suiv.

287. BERTHIER, Annales de Chimie et de Physique tome XVII, p. 55, et Annales des Mines, 1re série, tome VI, p. 579. — STODART et FARADAY, voyez la citation du paragraphe 220.

289. RINMAN, tome I, p. 499, tome II, p. 136 et suiv. — STÜNKEL, sur la fonte manganésifère, *Bergmännisches, neues Journal*, tome III, p. 455 et suiv., Arch., tome I, p. 118.

292. KARSTEN. Influence de la température sur les propriétés des produits que donnent les minérais de fer fondus dans les hauts fourneaux. Archiv., tome XIII, p. 211 et Annales des Mines, 2e série, tome I, p. 209.

295. MACCULOCH, sur le graphite contenu dans la fonte, *Edinburgh philosophical Journal*, tome VII, n° 14, p. 197, et Arch., *f. Bergbau*, tome VIII, p. 43.

296. MUSHET, voyez la citation du paragraphe 171. — BOUSSINGAULT, sur la silice contenue dans l'acier. Voyez la citation du paragraphe 250.

299. BERZELIUS, *Afhanlingar i Phisik, Kemi och Mineralogi*, tome III, p. 128, etc.

306. BERTHIER, Annales de Chimie et de Physique, t. XXVII, p. 19.

307. Berzelius et Marcet, *Gilbert's neue Annalen der Physik*, tome XVIII, p. 144, et 148.

310. Rinman, tome II, p. 235 et suiv., 282 et suiv., 300 et suiv., 316 et suiv., 330 et suiv. — Kastner's, *deutscher Gewerbsfreund*, p. 62.

311. Achard, Mémoires de l'Académie de Berlin, année 1799, 1780 et 1784. — Lampadius, *Allgemeine Hüttenkunde*, tome I, p. 130. — Kirwan, *Eléments of Minéralogy*, 2e édition, tome I.

312 Starbæck, sur le degré de fusibilité des scories, Arch., tome XIV, p. 176.

315. Black's, *lecture*, etc., tome III.

DES MINÉRAIS DE FER.

337. *On the component parts of iron stones and how these in the manufacturing affect the quality of crude iron, by* Dr Mushet, *in Tilloch's philosophical mag.*, tome III, p. 193, 210, 239 à 255.

342. Chladni, Journal des Mines, tome XV, n° 88, p. 86 et suiv.; n° 90, p. 446 et suiv.; Catalogue par ordre chronologique des météores, à la suite desquels des pierres ou des masses de fer sont tombées, tome XXV, n° 145, p. 73 et suiv.; supplément, tome XXVI, n° 151, p. 79 et suiv. — Klaproth, *Beiträge zur chemischen Kenntniss der mineral körper; Fer natif*, tome IV. — Godon, Saint Memin, analyse du fer natif de la Bouiche, Annales des Mines, tome XIX, p. 430; ou Journal de Physique pour 1805, tome LX, p. 340. — Sur différentes espèces de fer regardées comme natives, Journal des Mines, tome II, n° 63, p. 212; tome XIII, n° 74, p. 81 et suiv.; tome XV, p. 286 et 446. — Chladni, sur les météores et les aréolithes. Vienne, 1819. — Laugier, découverte du chrôme dans le fer météorique, mémoire lu à l'institut, le 5 mars 1805; Ann. de chimie, tome LVIII, p. 261. — Mémoire pour l'histoire des substances météoriques par Schreiber. Vienne, 1820. — Rose, composition des aréolithes; Annales de Poggendorf, tome IV, p. 173. — Noggerath et Bischof, sur la masse de Bittburg; *Schweiggers neues Journal*, tome

XIII, p. 1. — Monheim, sur la masse de fer d'Aix; *Schweigger's neues Journal*, t. XVI, p. 196 et t. XX, p. 339. — Germar, sur le fer natif de Scholey; Manuel de la minéralogie de Leonhard, tome XV, p. 932. — Klaproth, *Beiträge*, etc., tome IV, p. 98. tome VI, p. 306. — Laugier, faits pour servir à l'histoire des fers météoriques; Annales de chimie et de physique, t. XIII, p. 439; mémoire lu à l'académie des sciences, le 29 janvier 1822, sur le fer météorique de Juvenas; analyse de deux météorites par le même chimiste, bulletin, philomatique, 1823, p. 86. — Gehlen, sur le cobalt contenu dans le fer météorique; Journal de Gehlen, tome II, p. 10. — Proust, sur le fer natif du Pérou. — Vauquelin, analyse de la pierre météorique tombée a Valence, en 1806; analyse de la pierre météorique tombée à Chassigny près de Langres, en 1815. Annales des mines, 1816, tome I, p. 45. — Examen fait d'après l'invitation de l'Académie des sciences d'un aréolithe tombé aux environs d'Epinal, le 13 septembre 1822, par le même chimiste; Annales de chimie, tome XXI, page 324. — Hovard, *Gilbert's Annalen*, tome XIII, p. 291. — Wollaston, *Gilbert's Annalen*, tome LVI, p. 373. — Tennant et Gibbs, *Gilbert's Annalen*, tome XLIII, p. 19 — 32. — Stromeyer, *Gilbert's Annalen*, 1816, *St* X page 107; tome LVI, p. 191. — Boussingault et Mariano de Rivero, annales de chimie et de physique, tome XXV, p. 43. — 443. — John, annales de chimie et de physique, tome XVIII, p. 207.

350. Vauquelin, journal des mines, n° IX. — Lampadius, *Handbuch der chemichen Analysen der Mineralkörper*. — Proust, sur les sulfures métalliques, Journal de Physique, tome LV, p. 89. — Stromeyer, dans les *Göttingischen gelehrten Anzeigen*, pour 1814, p. 47 et *Gilbert's neue Annalen der Physik*, tome XVII, p. 84 — 90. — Dumenil, Archiv., tome V, p. 208.

354. Thomson, *chemical analysis of a specimen of magnetique iron ore from Greeland; memoires of the Wernerian society*, tome II, part. I, p. 51. — Bucholz, *Gehlen's Journal der Chemie und Physik*, tome III, p. 206. — Hisinger, *afhandling i fysik*, tome III, p. 323. — Gaertner, Manuel de la Minéralogie, tome IX, p. 82. — Berthier, analyse d'un miné-

rai de la Plata, Annales des mines, tome X p. 293. — Gerolt, *Archiv. fur Bergbau*, tome XIV, p. 64.

355. Karsten, *chemische Untersuchung verschiedener Magnet Eisensteine*, Archiv., tome XVI p. 17 et p. 30.

359. Bucholz, *Gehlen's Journal für Chemie, und Physik*, tome III, p. 104, 106; tome IV, p. 155. — Drappiez, Berthier, annales des mines, tome V. — Journal de Schweigger pour 1822, tome II, p. 337.

368. Hausmann, sur les ocres jaunes et fereux et sur les divers produits formés dans la nature par l'hydrate de fer, *Gilbert's Annalen*, tome XXXVIII, p. 1 et suiv. — D'Aubuisson, du fer hydraté considéré comme une espèce minéralogique, Journal des mines, tome XXVIII, n° 168, p. 443 à 467. — Observation de Hausmann sur le mémoire précité, *Gilbert's Annalen*, t. XXXVIII, p. 64, 70. — Ullmann, *systematisch, tabellarische Uebersicht*, p. 313. — Vauquelin, Tableau comparatif de Hauy. — Brandes, *Noggerath's Rheinland Westphalen*, tome I, p. 358. — Proust, *Gehlen's Journal*. — Karsten, archiv, *für Bergbau*, tome XIII, p. 221 : tome XV, p. 1, etc. — Berthier, sur les minérais de fer appelés mines douces, annales des mines 1re série, tome IX, p. 825; le même chimiste sur les hydrates, tome IV, p. 384 — 388. — Klaproth; mémoires de Chimie traduits par Tassaert. Le même sur les fers limoneux dans ses mémoires, tome IV. — Vauquelin, analyses de quelques minérais de fer de la Bourgogne et de la Franche-Comté, Journal des mines, tome XX, n° 119 p. 381 et suiv. — Mollinghof, *Crell's Annalen*, pour 1802 p. 110. — Vauquelin, mine de Penne, Journal des mines, tome II, p. 11. — Klapproth, minérais en grains du Hoegau, tome IV. — Karsten, fers bruns, *Archiv. für Bergbau*, tome VIII, p. 249. — Pfaff, fer limoneux, archiv., tome III, p. 240. — Morell, *Jern-Kontorets Annalen*, 1825 *föra haftet*, p. 161 et suiv. — Karsten, fer lenticulaire de Bavière. archiv., XVI, p. 40 et suiv.

370. Rose, *Poggendorf's Annalen für* 1825, *Heft* II, p. 168; annales de chimie, tome XXIX, p. 130. — Berthier, an-

nales des mines, t. V, p. 479 à 494. — VAUQUELIN et HECHT, journal des mines n° 19, p. 60 — COLLET DESCOTILS, Journal des mines, tome XVI, p. 65. — Mémoires de JOHN, tome VI. — THOMSON, *Philipp's introduction of Mineral.*, p. 260 — Mémoires de chimie de KLAPROTH, tome V. — PFAFF, *Schweigger's Journal*, tome XVIII, p. 7. — LASSAIGNE, Ann. des mines, tome VI, p. 457. — CORDIER, Journal des mines, tome XXI, p. 256.

371. BERZELIUS, *Afhand. i fisik*, tome IV, p. 293. — VAUQUELIN, bulletin de M. de Ferrussac, pour 1825 p. 27.

372. KLAPROTH, mémoires de chimie tome IV. — BERTHIER, annales des mines, t. VI, p. 573. — LAUGIER, Ann. du mus., t. VI, p. 326. — SEYBERT, *american Journal*, tome IV, p. 321. — VAUQUELIN, Journal des mines, n° LV, p. 523. — TASSAERT, *Crell's chemische Annalen f.* 1800, tome I, p. 355. — MOSER, *chemische Abhandlungen über das Chrom.* Vienne 1824.

378. KLAPROTH, minérai de fer bleu, mémoires de chimie, tome VI; le même chimiste tome II; le même, *Gehlen's Journal*, VI, p. 407. — STEINMANN, *Schweigger's neues Journal*, tome II, p. 69. — WERNECKINK, *Poggendorf's Annalen*, tome I, p. 378. — OEGREN, archiv., XI, p. 432. — SJOGREN, *ib.*, p. 433. — VAUQUELIN, sur la chlorite, notice déjà mentionnée — STROMEYER, Ilvait, mémoires, p. 377. — WACHTMEISTER, sur les grénats, archiv. XI, p. 192. — HISINGER, archiv., tome IX, p. 192, et Annales de chimie et de physique, tome X, p. 271. — KARSTEN, sur les grenats, archiv., tome VIII, p. 249. — JOHN, sur le fer de Düren, mémoires, tome VI, 299. — DOBEREINER, kolreuterit, Isis, 1818, p. 449. — BRANDES, chloropal, *Schweigger's neues Journal*, tome V, p. 29.

380. DOBEREINER, annales générales des sciences physiques, tome V, p. 355.

381. KLAPROTH, *Gehlen's Journal*, tome III, p. 103. — BOUCHOLZ, *Gehlen's Journal*, tome III, p. 115. — STROMEYER, Mémoire, p. 268 à 272. — M. BERTHIER, sur quelques carbonates natifs à base de chaux, de magnésie, de fer et de manganèse.

Annales des Mines, tome VIII, p. 887 à 896. — KARSTEN, *Archiv.*, tome IX, p. 220.

382. MARONI DAPONTE, *Memorie di matematica, etc. Verona* 1815.

385. BERTHIER, essais et analyses d'un grand nombre de minérais de fer provenant des houillères de France; Annales des Mines, tome IV, p. 557 et suiv.; tome VIII, p. 887 et suiv. Analyses des minérais de LAVOULTE. Annales des Mines, tome V, p. 325 et suiv. — *Philip's Annals of Philosopy new ser.*, tome VIII, p. 72. — DUMÉNIL, *Archiv.*, tome VII, p. 506. — BISCHOF, *Archiv.*, tome XII, p. 415.

386. M. BERZELIUS, sur les phosphates, *Archiv. f. Bergbau*, tome XI, p. 365; le même chimiste, sur le fer résinite. Annales de Chimie et de Physique, tome XII, page 34. — STROMEYER, *Beiträge*, p. 278. — BERTHIER, Minérai d'Anglar. Annales des Mines, tome XII, p. 303. — M. VOGEL, *Gilbert's Annalen*, tome LIX, p. 174. — Annales du Museum, tome III, p. 406. — KLAPROTH, mémoires de Chimie, tome IV. — BRANDES, *Schweiger's Journal neue Reihe*, tome I, page 77. — VAUQUELIN, huraulite et hétépozite, Annales des Mines, tome XII, p. 304 et 305. — STEINMANN, *Vorträge gehalten in der bömischen Gesellschaft der Wissenschaften. Prague* 1825, *et Kastner's Archiv. für Naturlehre*, tome VIII, p. 446. — KARSTEN, sur le fer terreux vert, *Archiv. für Bergbau*, tome XV, p. 243 et suiv.

387. BERZELIUS, sur la combinaison de l'acide arsénique avec le fer; *Archiv. für Bergbau*, tome XI, p. 365, et Annales des Mines, tome XII, p. 306.

388. STROMEYER, *Beiträge*, p. 244 à 259. — LAUGIER, Annales des Mines, tome XII, p. 309, et Annales de Chimie, tome XXX, p. 315.

389. MARIANO de RIVERO, oxalate de fer, Annales de Chimie, tome XVIII, p. 207, et Annales des Mines, tome VII, p. 243.

399. DUHAMEL, Observations sur le traitement des minérais de fer à la fonte, Mémoires de l'Académie, 1786, p. 456.

404. M. Jasche, Observations sur la cristallisation des minérais de fer fondus pendant le grillage, *Archiv. für Bergbau*, tome IX, p. 201.

408. Pantz et Atzl, *Versuch einer Beschreibung der vorzüglichsten Berg-und Hüttenwerke des Herzogthums Steyermark.* Vienne, 1814, p. 105 à 107. — Stengel, sur la formation de la fonte blanche lamelleuse, *Archiv. für Bergbau*, tome IX, p. 215 et suiv.

410. Karsten, Influence de la température sur les propriétés des produits obtenus par la fusion des minérais dans les hauts fourneaux, *Archiv. für Bergbau*, etc., tome XIII, p. 211 à 231; Annales des Mines, 2e série, tome I, page 209.

411. Karsten, sur la production et le traitement ultérieur de la fonte qu'on obtient avec des minérais de fer limoneux, *Archiv. für Bergbau*, etc. tome XV, p. 3 et suiv.

415. Garney, sur la construction et le travail des hauts fourneaux, traduit du suédois en allemand par Blumhof, Freiberg, 1801, tome II, p. 100. — Duhamel, observations sur le traitement des minérais de fer à la fonte, Mémoires de l'Académie, 1786, p. 456.

430. Ilsemann, *Von Verbesserungen der Eisen-Proben. Crell's neuste chemische Entdeckungen*, tome VI, p. 31 à 46 — Le même dans *Crell's Annalen*, pour 1787, tome II, p. 505. — Gadolin, *chemisk Afhandling, om flussers wœrkan vid jœrnmalmers proberande genom smœlting, Abo*, 1794, *id.*, Annales de *Crell's*, 1796, tome II, p. 280 à 288, 304 à 325, 386 à 393. Le même dans le même journal, pour 1789, tome II, p. 325 à 351 et pour 1797, tome II, p. 221. — Kirwan, sur les essais par la voie sèche, dans le même journal, pour 1797, tome II, p. 212 à 224, ou Système des connaissances chimiques, vol. VI. — Sur l'art d'essayer les minérais de fer avec la description d'un fourneau d'essai et d'un indicateur pyrométrique, Annales des arts, tome II, p. 256 à 278, tome III, p. 19 à 30, 120 à 133. — Dobson *ib.*, tome XLII, p. 136 et suiv. Voyez aussi sur les essais des minérais de fer: Stunkel's *Beschreibung der*

Härzer Eisenhütten. p. 213. — GERLEN's, *Journal f. physik und Chemie*, tome IV, p. 158 et suiv. — *On the essaying of iron ores ond iron stones by fusion*, Dr MUSHET, *Tilloch's philosophical magasine*, tome IV, p. 178—188, 380—393, tome V, p. 236—239.

444. Dr MUSHET, *Working of iron stones, Tilloch's philosophical magazine*, tome III, p. 23—30.

445. A. W. ARNDT, *über die Aufbereitung der Eisenfossilien, Moll's neues Jahrbuch der Berg-und Hüttenkunde*, tome V, p. 75—97, 174—194.

453. GARNEY, sur le grillage et le bocardage des minérais de fer dans l'ouvrage cité précédemment, tome II, p. 133.—193. —Voyage métallurgique de Jars, fourneaux de grillage, tome I, p. 33 et 165.—HERMANN, sur le grillage, le bocardage et le lavage des minérais de fer; *Crell's Beiträge zu den chemischen Annalen*, tome V, p. 296 et suiv. — VALLERIUS, *metallurgische Abhandlung über das Rösten des Eisenerzes*. — SCREBER's, *neue Sœmmlungen*, tome VI, p. 325 à 344 — Sur le grillage des minérais de fer; Annales des Arts, tome XIII, p. 113 à 130. —Description d'un fourneau de grillage pour le minérai de fer, employé au Creusot et à Vienne, par MM. LAMÉ et THIRRIA, Annales des mines, tome V, p. 391.

454. De *Marcher's Beiträge zur Eisenhüttenkunde*, I, tome V, p. 156 à 175.

456. Dr MUSHET, *on the use of calcareous stones in the manufacturing of crude iron, Tilloch's philosophical magagine*, tome IV, p. 43 à 57.

460. Comte de VANDENBROEK, Essais sur la réduction des scories de forges et des minérais de fer dans les fours à reverbère, *Archiv. für Bergbau*, tome XI, p. 280 et suiv.

477. RUMFORD, *experimental researches*, etc. Recherches expérimentales sur le bois et le charbon, lues à la première classe de l'Institut, le 28 septembre et le 5 octobre 1812; Bibliothèque britannique, Sciences et Arts, tome LI, p. 220 et 299; et tome

LII, p. 35, *Schweigger's neues Journal f. Chemie und Physik*, tome VIII, p. 160 à 164.

479. Botanique forrestière de J. M. Bechstein, 4^me^ édition. Erfurt et Gotha, 1821.

482. Rumford, recherches sur la construction intérieure et la pesanteur spécifique du bois, etc., etc., dans le mémoire cité au paragraphe 377; *Schweiger's neues Journal f. Chemie und Physik*, tome VIII, p. 165 à 202. — Hartig, *Versuche über das Verhältniss der Brennbarkeit der meisten deutschen Waldbaumhölzer*, 1798. — Wildenhain, *Leipziger Intell. Blatt f.* 1773, n° 33, p. 350 et suiv. Notes sur les poids de quelques espèces de bois à brûler, et sur la consommation comparative de ce combustible et de la houille dans les travaux métallurgiques, par Berthier, Annales des Mines, tome III, p. 51 à 67.

485. Proust, sur les quantités de charbon contenues dans les diverses espèces de bois; *Scherer's allgemeïnes Journal der Chemie*, tome VII, p. 707 et suiv. — Mushet, *Tilloch's philosophical Magazine*, tome III, p. 13 à 17, et dans les annales des Arts, tome IX, p. 32. — Hyelm, *Crell's chemische Annalen pour* 1784, tome I, p. 432 et suiv. Le même sur le retrait de plusieurs espèces de bois pendant la carbonisation; *Crell's neueste chemische Entdeckungen*, tome VIII, p. 125 à 137. — Scopoli, Mémoire sur la carbonisation, *in den Abhandlungen und Beobachtungen der ökon. Gesellschaft zu Bern* pour 1771, tome II, p. 1 à 30. — Allen et Pepys, *Gehlen's Journal f. Chemie Physik und Mineralogie*, tome V, p. 609.

486. *Gründliche Anleitung, die rohe Holzsäure zur Bereitung des reinen Essigs, des Bleiweisses, Grünspans*, etc., etc., *auf das fortheilhafteste zu benutzen*, par M. Stoltze, Halle, 1820: *Schweigger's Journal*, tome XXIX, p. 48—55. — Examen d'une substance particulière qui se produit dans les manufactures d'acide pyroligneux, par MM. Macaire et Marcet, Bibliothèque universelle, tome XXIV, p. 126—132; *Gilbert's Annalen*, tome XXX, 393; *Schweigger's Journal*, tome XXVII, p. 294; tome XXIX, p. 47 et 327.

489. Cheuvreusse, recherches physico-chimiques sur le charbon, Annales de chimie et de physique, tome XXIX, p. 426; Annales des mines, tome XII, p. 136.

492. Pissis, *Scherer's allgemeines Journal der Chemie*, tome VIII, p. 280 et suiv. — Kirwan, Mémoires *Phys. Chem.* ou Annales des Arts, tome IX, p. 29. — Mushet, Annales des Arts, tome IV, p. 32.

493. Analyses des cendres de diverses espèces de bois par M. Berthier, Annales des mines, 2me série, tome I, p. 241.

499. Rosenthal, *geometrische Abhandlung von der Bestimmung der Grösse und des Verlustes derer Holzhaufen, welche ihre Lage an einem Gebirge haben.* Nordhausen 1771.

503. Funk, *Beschreibung wie Theer-und Kohlenöfen einzurichten*, traduit du suédois en allemand, *Schreber's neue Sammlungen*, tome IV, p. 765 à 819. — Mussin Puschkin, sur la carbonisation du bois dans des fourneaux, *Crell's Annalen* pour 1797, t. II, p. 481 à 483. — Carbonisation du bois dans des fourneaux, Journal des Mines, nos 63, 65 et 81. — Jordan, Sur la carbonisation du bois dans des fourneaux. — Dessen et Hasse, *Magasin f. Eisenberg-und Hüttenkunde*, tome I, 2e cahier, p. 172 à 185. — Sur l'importance de la carbonisation du bois dans les fourneaux pour l'économie forestière, *Abhandlung über wichtige Gegenstände des Forstwesens*, 1er cahier, Marbourg, 1806, p. 15 à 111. — Wechter, notice sur un essai de carbonisation dans des fours, *Neues Journal f. Fabriken, Manufacturen, Handlung Kunst und Mode. Leipzig, Mars*, 1810, tome III, p. 193 à 218. — *Archiv für Bergbau*, tome I, p. 205.

504. Rapport fait par Vauquelin au nom du comité des arts chimiques sur un mémoire de la Chabaussière, relatif à la carbonisation du bois, Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationnale, tome XX, p. 294 à 306; Annales des mines, tome VII, p. 247. — Ermann's *Beiträge zur Kenntniss des Innern von Russland;* 2e partie, tome II, p. 10.

505. Karsten, sur la nouvelle méthode de carbonisation pro-

posée par M. SCHWARTZ à Stockholm, *Archiv für Bergbau*, tome XI, p. 135 à 169.

507. KARSTEN, *Metallurgische Reise durch einen theil von Baiern und durch die Süddeutschen Provinzen Oestreich's. Halle*, 1821, p. 424 et suiv.

510. Nouveau procédé pour la carbonisation du bois; dans les Annales des arts et manufactures, tome V, p. 249 à 266.

512. KARSTEN, sur la carbonisation du bois à St.-Salvador, dans l'ouvrage précité (507), p. 325 et suiv.

515. Sur la manière la plus avantageuse de construire les meules de bois qu'on veut carboniser; *Stahl's Forst Magazin*, tome X, p. 162 à 169.

516. *Leipziger Intelligentz Blatt*, 1755, n° 12. — J. BECKMANN, quelques observations sur la carbonisation du bois; *Bemerkungen der kurpfältzisch. physikal-ökonomische Gesellschaft*, pour 1774, p. 299 à 317. — PALMSTIERNA, *Bemergungen über die Kohlenmeiler; Grell's neues chemisches Archiv*, tome VIII, p. 267. — *Vermischte Abhandlung der Wesphälischen ökonomischen Société zu Hamm*, tome I, p. 54. — *Oekonom. Nachr. d. schles. patriot. Gesellsch*, pour 1775, tome III, p. 187; *Hessendarmstadter Magazin*, pour 1775, p. 139 à 145.

517 C. G. STUNKEL, évaluation du volume et de la surface des meules de bois; *Magazin f. Eisenberg und Hüttenkunde*, tome I, 2e cahier, p. 87 à 191.

519. *Beschreibung der italienischen méthode* (par ordre du gouvernement autrichien), faite par M. C. V. HERBURGER, à Hiflau. Vienne, 1812. — KARSTEN, *metallurgische Reise*, p. 326 à 398.

533. HASSENFRATZ, *Siderotechnie*, tome II, p. 17 à 20. On peut consulter encore sur la carbonisation du bois les ouvrages vrages suivans: *Systematische Abhandlung von den Kohlen*, par BORNEMANN, 1776. — GERHARD, traducteur du voyage métallurgique de Jars, dans les notes ajoutées au texte, tome II, p. 634 à 686 de la traduction. — *Kunst des Kohlenbrennens*, par HALLÉ.

Werkstätte der heutigen Künste, tome III. — DUHAMEL DU MONCEAU, l'art du charbonnier. — CRAMER's *Anleitung zur Forstwissenschaft*, 1766. — BURGDORF, *vollständige Geschichte der vorzüglisten Holzarten*, tome I, p. 416 à 435. — CELSIUS, *de arte carbonaria in patria, Upsal*, 1741. — MAGNI-WALNERI, *dissertationes de arte carbonaria in patria, Upsal*, 1740. — GLEDITSCH, *Forstwissenschaft*, 1775, tome II, p. 157 à 168. — SCOPOLI, Mémoire sur la carbonisation. *Bern*, 1771. — ZANTHIER, sur la carbonisation; *Gatterer's neues technologisches Magazin*, tome I, p. 1 et suiv. — LEONHARDI's *Magazin f. das Jagd und Forstwesen*, septième livraison. — *Oekonomische Nachrichten der schlesichen patriotischen Gesellchaft*, pour 1774, tome II, p. 223 — KLIPSTEIN, *Mineral. Briefwechsel*, tome II, p. 55 à 93. — RETTBERG, *Hannöviches Magazin*, 1774, p. 66 — THLL's *und* GÆRTNER's *Eisenhütten Magazin*. — TIEMANN's *und* WÆHLER's *Eisenhüttenkunde*. — V. USLAR, sur la carbonisation du bois; *Forstwirthschaftliche Bemerkungen auf einer Reise, Brunswick*, 1792. — SPATH, *Praktische Abhandlung über das verkohlen des Holzes, Nürenberg*, 1800. — *Berattelse om kolning's Försök pa Bruks Societetens bekosnad anstälde af C. D. af Uhr. Stockholm*, 1814. — *Handbok for kölare. Stockholm*, 1823. — Ordonnance sur les coupes de bois et sur la carbonisation pour les usines royales de Prusse. Berlin, 18 janvier 1779. Cette ordonnance renferme d'excellens préceptes pour les charbonniers.

535. J. C. G. VOIGT. *Geschichte der Steinkohlen, der Braunkohlen und des Torfes. Weimar*, 1802. — *Gilbert's Annalen*, tome, XIV p. 469 et suiv. — POIRET, sur la tourbe du départ^t de l'Aisne. — DAU, *Neues Handbuch über den Torf*. Leipzig, 1823.

537. F. M. WAGNER, sur l'emploi et l'effet de la tourbe crue pour les feux des flamme; *Moll's Ephemeriden der Berg und Hüttenkunde*, tome I, première et deuxième livraison, p. 47 à 49. Voyez aussi pour les expériences de Wagner, sur l'emploi de la tourbe crue ou carbonisée, le Journal des Mines, tome XIV et tome XV. — BLAVIER, procès-verbal d'expériences sur l'emploi comparatif de la houille et de la tourbe sous des chaudières d'ateliers, Annales des Mines, tome I p. 233 — 231. —

Ueber die Wirksamkeit des Torfes in Vergleih mit dem Holz beim Verdunsten des Wassers, par MOSER, *Archiv für Bergbau*, tome VI, p. 427.

538. BUCHOLZ, recherches chimiques sur quatre espèces de tourbe, particulièrement sous le rapport de la quantité des parties combustibles qu'elles peuvent contenir; *Scherers allgemeines Journal der Chemie*, tome VIII, p. 579 à 600.

539. MM. de CHAMISSO, HOFFMANN et POGGENDORF, *über das Torfmoor zu Linum*, *Archiv für Bergbau*, tome V, p. 253 et suiv. CHAMISSO, sur le terrain tourbier de Grieswald, Archiv tome VIII, p. 129 et suivantes; le même sur les tourbières de Colberg, Gnageland et Schwinemünde, tome XI, p. 3.

541. Histoire d'un essai sur l'emploi du charbon de tourbe dans les usines à fer; *Oekonomische Nachrichten der patriotischen Gesellchaft in Schlesien*, pour 1773, p. 332 et suiv. — CARTHEUSER, sur l'emploi des charbons de tourbe pour la fusion des minérais de fer; *Grundsätze der Bergpolizeiwissenschaft*, 1776, p, 197 et suiv. — SAGE, comparaison entre l'effet du charbon de bois et celui du charbon de tourbe; *Crell's Annalen* pour 1791, tome II, p. 78 à 81 — RINMAN, sur l'emploi de la tourbe dans les feux de chaufferie, *ib.* 1784, tome I, p. 529 à 531. — WAGNER, sur l'emploi de la tourbe dans les hauts fourneaux; *Moll's Jahrbücher der Berg- und Hüttenkunde*, tome IV, p. 262 à 378. — Additions de M. de Moll sur les essais qui ont été faits dans le Salsburg, *ib.* 379 à 402. — WAGNER, sur les essais faits par M. Lampadius, avec la tourbe crue; *Moll's Annalen der Berg und Hüttenkunde*, première et deuxième livraison, p. 123 à 137. — Résumé des essais sur l'emploi de la tourbe; *Moll's Annalen*, tome III, deuxième livraison, p. 260 et suiv. — WAGNER, sur l'emploi de la tourbe crue pour l'affinage immédiate des minérais; *Moll's Ephemeriden*, tome I, première et deuxième livraison, p. 16 à 50. — Sur l'emploi de la tourbe crue dans le fourneau de Lichtmesberg en Styrie; MARCHER's *Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hohöfen und Rennfeuer*, quatrième cahier, p. 75 à 78. — Mémoire sur l'emploi de la

tourbe brute dans les diverses opérations de la fabrication du fer, Rozières, Journal des Mines, n° 97 p. 35—50, n° 99 p. 225—234.—Moser, *Archiv. für Bergbau*, tome VI, p. 430.

543. Procédé pour obtenir de bon charbon avec la tourbe, *Oekonomische Heften*, tome VIII, p. 37 à 40. —J. E, Siehe, *über das verkohlen des Torfs*. Berlin, 1793.—Blavier, sur la carbonisation de la tourbe, Journal des Mines, n° 2, p. 2 à 64; le même n° 197, p. 376 à 379—G. A, Datzel, *über Torf, dessen Entstehung, Gewinnung und Nutzen. München*, 1795. Marcher, *Beiträge zur Eisenhüttenkunde*, tome VI, p. 172 à 300.—Perfectionnement dans le procédé de carbonisation de la tourbe par Dorigny, Archives des découvertes et des inventions nouvelles pendant l'année 1820. Paris, 1821, p. 408.—Rapport fait par M. Derosne, au nom du comité des arts économiques sur la tourbe carbonisée de M. Voland, Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, tome XIX, p. 290 et suiv. —Rapport sur la carbonisation de la tourbe et sur l'usage du charbon de tourbe et autres produits résultant de la distillation par M. Blavier, Annales des Mines, tome IV, p. 177 à 200.—Sur la carbonisation de la tourbe par Siehe, Berlin, 1822.

544. Hatchett, *Gehlen's Journal für Chemie und Physik*, tome I, p. 545 et suiv.

546. Karsten, sur la formation de la houille brune et de la houille noire; Recherches sur les combustibles minéraux, *Archiv, für Bergbau*, tome XII, p. 228 et suiv. Traduit par extrait dans le Journal des Mines, tome XIII, p. 111.

548. Karsten, sur la composition du graphite et de l'anthracite dans l'ouvrage précité, p. 90 et suiv.

558. Oeynhausen et Dechen, sur le poids absolu et la pesanteur spécifique de la houille provenant des mines d'Eschweiler, *Archiv für Bergbau*, tome VIII, p. 2.

561. Karsten, recherches sur les combustibles minéraux, tome XII, p. 47 et suiv.

574. Sur une espèce de houille connue sous le nom de houille

incombustible, Annales des arts et manufactures, tome XXVIII, p. 246 à 258, ou dans le Journal des mines n^os 81 et 125. — KIRWAN, mémoires sur les matières premières employées dans la fabrication de la fonte, Annales des arts, tome IX, p. 113 et suiv. — LAMPADIUS, *chemische Untersuchung verschiedener Steinkohlengattungen aus Schlesien, Sachsen und Böhmen; Scherer's, Journal*, tome V, p. 147 à 156. — Essais de RICHTER, *neue Gegenstände der Chemie*, tome VI, p. 224. — PROUST, faits pour servir à l'histoire de charbons de terre, Journal de Physique, tome LXIII, p. 320. — Sur la composition des diverses espèces de houille, THOMSON, *Annals of phylosophy*, tome XIV, p. 81. — HENRY, recherches sur le gaz fourni par la houille; *Thomson's Annals of phylosophy*, tome XIV, p. 335 à 344; tome XV, p. 32 à 39. — BRANDES, sur une substance semblable au camphre retiré de la houille; *the London Journal of arts and sciences*, n° II, p. 142. — DAVY, moyen d'utiliser pour les usages domestiques la menue houille; *the London journal of arts and science*, vol. III, p. 170. — Sur un banc de houille en combustion, Annales de chimie et de physique, tome XXI, p. 158. — DUMENIL, Analyse de la houille de Deister, Archiv. tome VII, p. 508. — BRANTHOME et HECHT, Analyse des houilles de Sundsweiler, de Sarbruck, etc., Journal des Mines, tome XXVIII, n° 167, p. 363 à 378. — KARSTEN, recherches sur les combustibles minéraux, Archiv t. XII, p. 3 et suiv. — URE, *Dictionary of chemistry, secund édition, Art. Coal and appendix*, p. 800. — MUSHET, analyses de plusieurs houilles, dans le même ouvrage p. 339.

575. Voyage métallurgique de JARS, tome II.

577. Procédé pour la carbonisation de la houille en gros morceaux, Annales des arts et manufactures, tome XXIX, p. 41 à 43.

598. Nouvelle méthode de carboniser la houille, Annales des arts et manufactures, tome XIV, p. 34 à 39.

579. Description d'un fourneau pour réduire la houille menue en coke, Annales des arts et manufactures, tome XXIX, p. 43 à 45.

580. M. DELAPLANCHE, description du procédé de carbonisa-

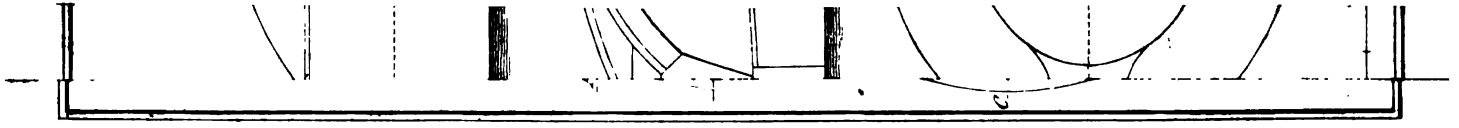
tion de la houille, employé près de S^t^-Étienne à l'établissement du Janon, Annales de Mines, tome XIII, p. 505 à 514.

581. Description d'un four à carboniser le charbon de terre, et à le convertir en coke, Annales des arts et manufactures, tome VII, p. 284 à 292. — Procédé de DUNDONALD, pour retirer le goudron de la houille; *Scherer's allgemeines Journal der Chem.*, t. IX, p. 106. — Voyage de SVEDENSTIERNA en Angleterre, traduit du suédois en allemand par Blumhof, 1811, p. 117. — HENRY, *Gilbert's Annalen*, tome XXII, p. 58. — AECUM, mémoire sur l'éclairage par le gaz traduit de l'anglais en allemand, par M. Lampadius. Weimar, 1816. — PRECHTL, sur l'éclairage par le gaz. Vienne, 1817. — PECKSTON, *Theorie and pratica of gas lighting.* London, 1822. — TABOR, *vollständiges Handbuch der Gaserleuchtungskunst*, 2 volumes. Frankfort sur le Mein, 1822. — VOLLMER, sur l'éclairage par le gaz, Berlin, 1825.

583. Voyage de SVEDENSTIERNA (581), p. 67. — KARSTEN, sur la carbonisation de la houille dans les fourneaux, *Archiv für Bergbau*, tome I, p. 81 et suiv.

593. MUSHET, *on the origin and progress of the manufacture of pig iron with pit-cool, and comparaison of the value and effects of pit-cool, wood ant peat char. Tilloch's philosophical magazine*, tome V, p. 366 à 377; tome VII, p. 35 à 46, *Archiv für Bergbau*, tome XI, p. 119 et suiv.

FIN DU PREMIER VOLUME.



Manuel de la métallurgie du fer,
Cabot Science 003412584
3 2044 091 945 691